



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ELTER MARTINS DOS SANTOS

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE PARICÁ
(*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) SOB DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
FEVEREIRO - 2012

ELTER MARTINS DOS SANTOS

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE PARICÁ
(*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) SOB DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais, na área de concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
FEVEREIRO - 2012

Dissertação 0046

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S237c Santos, Elter Martins dos, 1986-
Crescimento e produção de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos / Elter Martins dos Santos. – 2012.
74 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.

Coorientador: Adriano Ribeiro de Mendonça.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Árvore angiosperma. 2. Crescimento. 3. Espaçamento. 4. Desbastes florestal. 5. Paricá. I. Silva, Gilson Fernandes da. II. Mendonça, Adriano Ribeiro de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

**CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE PLANTIOS DE PARICÁ (*Schizolobium
amazonicum* Huber ex. Ducke) SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

Elter Martins dos Santos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 29 de Fevereiro de 2012.



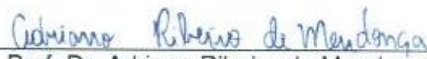
Prof. Dr. Carlos Pedro Boechat Soares
UFV
Membro Externo



Prof. Dr. Haroldo Nogueira de Paiva
UFV
Membro Externo



Prof. Dr. Adair José Regazzi
CCA/UFES
Membro Interno



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça
CCA/UFES
Coorientador



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
CCA/UFES
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, proteção, sabedoria e oportunidades.

Ao meu orientador, Professor Gilson Fernandes da Silva, pela confiança, apoio e, principalmente, pelos seus conhecimentos, que deram suporte e contribuíram na minha formação acadêmica. Muito obrigado!

Aos meus pais, exemplos de força e dedicação. Obrigado pelo apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao Professor Adriano Ribeiro de Mendonça, pela coorientação, pelo incentivo, apoio, e pelas sugestões que foram fundamentais para a conclusão do trabalho.

Ao professor Adair José Regazzi, pelos conhecimentos e esclarecimentos. Por colaborar com este trabalho, dando-me apoio e principalmente atenção em todos os momentos que precisei.

Aos professores Carlos Pedro Boechat Soares e Haroldo Nogueira de Paiva, por ter aceitado a participar e colaborar com este trabalho.

À Universidade Federal do Espírito Santo e à CAPES, pela estrutura e apoio financeiro para a realização deste trabalho.

Ao Centro de Pesquisas do Paricá pelo apoio.

A empresa Laminit, pela confiança e disponibilização dos dados.

Ao Luciano Zaneti e ao Marco Siviero, pela confiança e apoio deste trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Eduardo Pelli, pela colaboração no processamento dos dados.

Aos meus amigos, pela amizade, paciência e apoio.

A todos da República Vira-Latas, pela amizade e apoio. Vocês foram minha segunda família durante esses dois anos.

Aos meus amigos do LMMF, Onair, Diego, Rafael, Leandro, Rafaella, Rômulo, Ludmila, Larissa, Adriana, Ronielly, Ticiane e Hassan, pelas trocas de conhecimentos e momentos de descontração.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pela amizade e apoio. Em especial, a Valquíria, Calebe e as tias Mariza e Emilia.

A todos aqueles que colaboraram, direta e indiretamente, para a execução do presente trabalho, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

ELTER MARTINS DOS SANTOS, filho de Paulo José dos Santos e Maria Aparecida Martins dos Santos, nasceu em 23 de Fevereiro de 1987, no município de Linhares, no estado do Espírito Santo, Brasil.

Concluiu o Ensino Médio no CEFETES (Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo) de Colatina, em 2003. Em 2005, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre-ES, graduando-se em Engenharia Florestal em fevereiro de 2010.

Em março de 2010, iniciou o curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Ciências Florestais, na linha de pesquisa Manejo Florestal, na Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2012.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Esquema ilustrando duas funções densidade de probabilidade em duas idades, o ingresso de árvores em novas classes de diâmetros e o diâmetro diferenciador (<i>DD</i>), Fonte: GARCIA,1999	33
Figura 2. Esquema relacionando o ingresso percentual médio de árvores com a idade	35
Figura 3. Frequência observada e estimada pela função Weibull de algumas parcelas para cada espaçamento	36
Figura 4. Distribuição de resíduos relacionando as variáveis independentes e dependentes das equações de projeções d_{max_2} , β_2 , γ_2 e N_2	38
Figura 5. Distribuições diamétricas observadas e estimadas na parcela 2 do espaçamento 4 x 4	39
Figura 6. Ingresso percentual médio em diferentes espaçamentos	41

CAPÍTULO 2

Figura 1. Equação de regressão ajustada para o diâmetro quadrático (<i>Y</i>) em função da área útil (<i>X</i>), aos 60 meses.....	33
Figura 2. Equação de regressão ajustada para o volume (<i>Y</i>) em função da área útil (<i>X</i>), aos 60 meses	60
Figura 3. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 3 x 2 metros	62
Figura 4. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 3 x 3 metros	63
Figura 5. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 4 x 3 metros	63
Figura 6. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 4 x 4 metros	63
Figura 7. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 5 x 5 metros	64
Figura 8. Curvas de crescimento em diâmetro em função da idade para diferentes espaçamentos (4 x 4, 4 x 3, 3 x 3, 3 x 2, 5 x 5 metros)	66
Figura 9. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 3 x 2 metros...	67
Figura 10. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 3 x 3 metros...	68

Figura 11. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 4 x 3 metros ...	68
Figura 12. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 4 x 4 metros ...	68
Figura 13. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimava dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 5 x 5 metros ...	69
Figura 14. Curvas de crescimento em volume em função da idade para diferentes espaçamentos (4 x 4, 4 x 3, 3 x 3, 3 x 2, 5 x 5 metros)	71

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Equações ajustadas para as diferentes variáveis e suas respectivas medidas de precisão	37
Tabela 2. Equações logísticas e idades técnicas de desbaste em diferentes espaçamentos de plantio de paricá.....	42

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Modelos testados para descrever o crescimento em volume ou diâmetro quadrático em função da idade, para paricá	54
Tabela 2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados	55
Tabela 3. Resultados do Teste F e do Erro Padrão da Estimativa para os dados de diâmetro quadrático e volume em cada idade	56
Tabela 4. Médias obtidas para diâmetro quadrático (cm) de paricá aos 24, 36, 48 e 60 meses, em diferentes espaçamentos.....	56
Tabela 5. Médias obtidas para volume (m^3ha^{-1}) de paricá aos 24, 36, 48 e 60 meses, em diferentes espaçamentos.....	59
Tabela 6. Ajuste do modelo de regressão linear simples para descrever o crescimento em diâmetro e volume em função da área útil em povoamentos de paricá aos 60 meses de idade	59
Tabela 7. Equações ajustadas para descrever o crescimento em diâmetro quadrático (d_q) das árvores em função da idade (l) para povoamentos de paricá	61
Tabela 8. Estatística viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) para as estimativas de diâmetro quadrático a partir dos modelos logístico e Schumacher	64
Tabela 9. Equações ajustadas para descrever o crescimento em volume (Y) das árvores em função da idade (l) para povoamentos de paricá	66
Tabela 10. Estatística viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) para as estimativas de volume a partir dos modelos logístico e Schumacher	70

SUMÁRIO

RESUMO	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE	3
2.1.1. Importância e utilização	3
2.1.2. Ocorrência natural.....	4
2.1.3. Descrição botânica e eventos fenológicos	4
2.1.4. Características edafoclimáticas	5
2.1.5. Características silviculturais	5
2.2. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	7
2.3. MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	9
2.3.1. Função densidade de probabilidade Weibull	10
2.4. DESBASTES	12
2.4.1. Método da máxima curvatura e modelo expolinear.....	13
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO I - Idade técnica de desbaste para plantios de paricá.....	22
RESUMO	23
ABSTRACT.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	25
2. METODOLOGIA.....	27
2.1. DADOS	27
2.2. AJUSTE DO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	27
2.2.1. Frequências diamétricas.....	27

2.2.2. Ajuste da f.d.p. Weibull pelo método da máxima verossimilhança.....	28
2.2.3. Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.....	28
2.2.4. Projeções diamétricas para idades futuras.....	29
2.2.5. Avaliação dos modelos de distribuição diamétrica.....	30
2.3. CÁLCULO DA IDADE TÉCNICA DE DESBASTE UTILIZANDO O MÉTODO DE INGRESSOS PERCENTUAIS.....	32
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.1. DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA OBSERVADA E ESTIMADA.....	35
3.2. PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	37
3.2.1. Avaliação do modelo de distribuição diamétrica.....	37
3.2.3. Estimativa dos ingressos percentuais e da idade técnica de desbaste.....	40
4. CONCLUSÕES.....	43
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
CAPÍTULO II - Crescimento em diâmetro e volume de paricá sob diferentes espaçamentos.....	46
RESUMO	47
ABSTRACT.....	48
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. METODOLOGIA.....	51
2.1. OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS EM ESTUDO.....	51
2.2. ANÁLISE DE PERFIL	51
2.3. EFEITO DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO PARA CADA IDADE.....	52
2.4. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS VOLUME E DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA ÁREA ÚTIL DOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS	53
2.5. CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO EM FUNÇÃO DA IDADE	54
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55

3.1. COMPORTAMENTO DO CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS	55
3.2. EFEITO DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO QUADRÁTICO E VOLUME EM CADA IDADE	56
3.2.1. Análise de variância	56
3.2.2. Teste de média para os dados de diâmetro quadrático	56
3.2.3. Teste de média para os dados de volume	59
3.3. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DA ÁREA ÚTIL DOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.....	60
3.4. COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS NO TEMPO	62
3.4.1. Modelos de crescimento para diâmetro quadrático em função da idade	62
3.4.2. Modelos de crescimento para volume em função da idade	67
4. CONCLUSÕES.....	73
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

RESUMO

SANTOS, Elter Martins dos. **Crescimento e produção de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) sob diferentes espaçamentos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientador: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça.

Este estudo teve como objetivo analisar o efeito da variável espaçamento no crescimento em diâmetro do paricá; bem como determinar e projetar as distribuições diamétricas do paricá em diferentes idades; avaliar o movimento dos diâmetros nas diferentes idades, utilizando o método de Ingressos Percentuais; calcular as idades técnicas de desbaste e fornecer as estimativas da produção em diâmetro quadrático e volume por hectare, segundo diferentes espaçamentos. Foi empregada a função densidade de probabilidade *Weibull* para o ajuste dos modelos de distribuição diamétrica. Em seguida, foram projetadas as distribuições diamétricas futuras, utilizando equações de regressão. Depois de encontradas as frequências diamétricas, foram obtidos os ingressos percentuais médios para cada parcela por meio de um algoritmo específico. A partir dos ingressos percentuais, foi ajustado um modelo de regressão não linear, e por meio desse modelo, foram calculadas as idades técnicas de desbaste para cada espaçamento, com base nos princípios do método da máxima curvatura. Foi testada também, a possível existência de interação entre os espaçamentos e as idades, e em seguida testados os efeitos dos espaçamentos no crescimento das variáveis volume e diâmetro quadrático dentro de cada idade por meio da comparação entre médias pelo teste de Tukey. Foi ajustada uma equação de regressão linear simples para analisar o crescimento das variáveis em estudo, em função da área útil por planta. Verificou-se a consistência e eficiência do método dos ingressos percentuais (MIP) no estudo dos movimentos dos diâmetros. A idade técnica de desbaste tende a ser mais tardia em espaçamentos maiores, uma vez que a competição entre as plantas começa mais tarde. Foi observado que houve interação ($p < 0,05$) entre os fatores espaçamento e idade sobre o crescimento do paricá, evidenciando uma dependência entre os fatores. Apesar da interação, as maiores médias de diâmetro quadrático e menores médias de volume em $m^3 \cdot ha^{-1}$, foram obtidas no espaçamento 5 X 5 metros, independentemente da idade. Já o menor espaçamento testado, 3 X 2 metros, apresentou menores médias de diâmetro quadrático e maiores médias de volume, independentemente da idade.

Palavras chave: paricá, crescimento, espaçamento, desbaste

ABSTRACT

SANTOS, Elter Martins dos. **Growth and production of paricá plantations (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) under different spacings.** 2012. Dissertation (Masters in Forest Sciences) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre-ES. Advisor: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co Advisor: Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça.

This study aimed to analyze the effect of the spacing variable in the diameter growth of paricá; as well as to determine and project the diameter distributions of paricá at different ages; to evaluate the diameters movement at different ages, using the Percentual Entries method and to calculate the technical thinning ages and to provide estimates of production in quadratic diameter and volume per hectare, according to different spacings. It was used the *Weibull* probability density function for adjusting the diameter distribution models. Then, the future diameter distributions were projected using regression equations. After finding the diameter frequencies, the average percentual entries were obtained for each plot using a specific algorithm. From the percentual entries, a nonlinear regression model was adjusted, and through this model, the technical thinning ages were calculated for each spacing, based on the principles of the maximum curvature method. It was also tested the possible existence of interaction between spacing and ages, and then it was tested the effects of spacing on the growth of volume and quadratic diameter variables within each age by comparison of means by the Tukey test. A simple linear regression equation was fitted to examine the studied variables growth according to the floor area per plant. There was consistency and efficiency of the percentual entries method (PEM) in the study of the diameters movements. The technical thinning ages tends to be later in greater spacings, since the competition between the plants begins later. It was observed that there was an interaction ($p < 0.05$) between the spacing and age factors on the paricá growth, showing a dependence between the factors. Despite the interaction, the higher quadratic diameter and lower mean volume in m^3ha^{-1} , was obtained in the 5 X 5 meters spacing, regardless of age. While the smallest spacing tested, 3 x 2 meters, had lower quadratic diameter and higher average volume, regardless of age.

Keywords: paricá, growth, spacing, thinning.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A exploração de florestas nativas no Brasil vem sendo substituída por florestas plantadas, devido à expansão do mercado consumidor de madeira e, principalmente, a aplicação de uma legislação ambiental mais rigorosa. Assim, as empresas florestais que trabalham com peças de madeiras de maior diâmetro, originárias de matas nativas, estão sendo prejudicadas pela escassez da matéria-prima.

A estratégia de algumas empresas para atender a demanda do mercado e minimizar o corte de matas nativas, é investir na implementação de florestas plantadas, manejando plantações de espécies florestais de rápido crescimento para a produção de árvores de maior porte, reduzindo a pressão sobre as matas nativas. Segundo a Associação Brasileira de Florestas Plantadas (ABRAF, 2011), a área ocupada por plantios florestais de espécies não convencionais, como acácia, teca, araucária, pópulus, seringueira, paricá, entre outras, representou 6,6% da área total de plantios florestais no Brasil em 2010.

Uma espécie nativa plantada que vem se destacando nos últimos anos devido a suas características e atraindo a atenção de empresas e produtores é o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). As principais características da espécie *Schizolobium amazonicum* são: rápido crescimento, fuste retilíneo, desrama natural e madeira bem valorizada no mercado interno e externo. Essa espécie vem sendo bastante cultivada pelas empresas madeireiras da região norte e nordeste do país, principalmente nos estados do Pará e Maranhão, por apresentar possibilidade de produção mais rápida que outras espécies. No ano de 2010, a área plantada com o paricá atingiu 85.470 ha, mantendo-se praticamente estável comparativamente ao ano anterior (ABRAF, 2011). O principal uso da madeira é a produção de laminados e compensados em virtude das características das árvores dessa espécie, que apresentam pouca incidência de nós e pequena conicidade das toras. Segundo Vidaurre (2010), o fuste reto e a madeira com poucos defeitos aumentam o rendimento de lâminas de qualidade.

O rendimento na extração de lâminas de compensado está diretamente relacionado com o crescimento em diâmetro e a forma cilíndrica das árvores. Assim, os experimentos com paricá têm sido instalados com a finalidade de determinar o espaçamento mais adequado para o plantio para o bom crescimento da espécie.

Normalmente, encontram-se na literatura muitas informações sobre modelagem do crescimento e produção florestal de plantios comerciais de eucalipto e pinus. Entretanto, apesar do crescente aumento das áreas plantadas com paricá, ainda há poucas pesquisas e informações técnicas relacionadas à silvicultura e manejo dessa espécie. Portanto, devido a sua importância, tornam-se necessários mais estudos para o melhor aproveitamento da madeira de paricá.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito do espaçamento no crescimento em diâmetro e volume de povoamentos de paricá.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar as distribuições diamétricas em diferentes idades;
- b) Projetar as distribuições diamétricas para as idades futuras;
- c) Avaliar o movimento dos diâmetros nas diferentes idades, utilizando o método de Ingressos Percentuais;
- d) Determinar as idades técnicas de desbaste por espaçamento, e;
- e) Fornecer as estimativas da produção em diâmetro e volume, segundo diferentes espaçamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

2.1.1. Importância e utilização

O paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) é uma espécie nativa da região Amazônica de grande importância econômica para o setor industrial, de interesse para os mercados interno e externo. Essa espécie possui grande aceitação na indústria de compensados pela produção de excelentes lâminas para o mercado externo (Galeão et al., 2005), sendo que a maioria da produção é exportada para os Estados Unidos e para o mercado europeu, restando somente 10% para ser vendida no mercado nacional (Diário do Pará, 27 de dezembro de 2004). Os plantios dessa espécie favorecem a diminuição da exploração predatória e indiscriminada de outras espécies nativas. Segundo Galeão (2000), o paricá foi a espécie mais utilizada nos projetos de reposição florestal no estado do Pará, sendo plantado por cerca de 38% das empresas.

Uma das principais vantagens dessa espécie é o crescimento rápido, principalmente nos primeiros anos. Rondon (2000) constatou que o paricá foi a espécie que mais se destacou em crescimento, após avaliar o crescimento de 30 espécies florestais aos 54 meses de idade.

Devido à pequena conicidade das toras, o paricá tem grande potencial para serraria. Os principais usos da madeira são para móveis, acabamentos e molduras. Segundo Siviero (2006), as principais características que essa espécie possui são facilidade na retirada da casca, laminação, secagem, prensagem e excelente acabamento da madeira. De acordo com o mesmo autor, o aproveitamento da madeira no processo de laminação é de 80% contra 55% da floresta nativa. A madeira do paricá pode ser empregada também na fabricação de palitos de fósforo, saltos de calçados, brinquedos, maquetes, embalagens leves, canoas, forros, miolo de painéis e portas, formas de concreto e compensado. Além disso, segundo Pereira et al. (1982), citados por Colli (2007), devido ao fácil branqueamento e as excelentes resistências

obtidas com o papel branqueado, a madeira do paricá também pode fornecer matéria-prima para a obtenção de celulose e papel.

2.1.2. Ocorrência natural

A espécie *Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke é conhecida vulgarmente na Região Amazônica como paricá, bandarra ou guapuruvu-da-amazônia. Naturalmente é encontrada na Amazônia Brasileira, no Peru e na Colômbia, ocorrendo em mata primária e mata secundária de terra firme e várzea alta (Carvalho, 1994). Segundo Cordeiro (2007), a espécie *Schyzolobium amazonicum* ocorre também na Amazônia venezuelana, boliviana e equatoriana, bem como em toda a América Central, em altitudes até 800 metros. Esse mesmo autor descreve que a espécie é encontrada no Brasil nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, podendo ser encontrada também na mata atlântica entre Santa Catarina e Bahia.

2.1.3. Descrição botânica e eventos fenológicos

O paricá é uma espécie pioneira que pertence à família Leguminosae – Caesalpinoideae. Segundo Rossi e Quisen (1997), essa espécie é intolerante ao sombreamento, podendo reduzir seu crescimento sob tais condições. A casca externa apresenta tonalidade cinza-clara e, segundo Matsubara (2003), é grossa podendo medir até 15 mm de espessura.

O paricá é uma árvore de médio a grande porte e geralmente apresenta troncos aproximadamente cilíndricos e retos. É uma árvore grande, de rápido crescimento, podendo alcançar entre 15 a 40 m de altura e 50 a 100 cm de *DAP* (RIBEIRO, 2006). A madeira é macia, leve, apresenta cerne creme-avermelhado e alburno creme-claro (SOUZA et al., 2005).

As folhas são grandes, longipeciouladas e bipinadas. Conforme Hoffmann (2009), a folha mede até 2 m de comprimento e possui disposição alternada.

As flores são de coloração amarelo-clara, e segundo Carvalho (2007), medem de 2 a 2,2 cm de comprimento. A floração ocorre de junho a julho no Pará.

O fruto é um legume deiscente, sublenhoso e achatado. Podem medir de 6 cm a 10 cm de comprimento e 1,5 cm a 3,0 cm de largura (OLIVEIRA e PEREIRA, 1984, citados por SOUZA et al., 2003). A frutificação é anual, ocorrendo de agosto a outubro no Pará.

A semente é ovalada com ápice arredondado, e lateralmente achatada. Mede de 16 mm a 21 mm de comprimento por 11 mm a 14 mm de largura (CARVALHO, 2007), e a dispersão das sementes é anemocórica.

2.1.4. Características edafoclimáticas

A espécie se adapta bem ao clima Equatorial semiúmido, caracterizado por uma estação seca e outra chuvosa bem definida, na qual a ocorrência de chuvas acarreta em uma explosão de crescimento acentuada (VIDAURRE et al., 2006). Porém, segundo os autores, a espécie não tolera solos alagados. Crespo et al. (1995), citado por Carvalho (2007), descrevem que a precipitação média anual no Pará é de 1.600 mm a 3.000 mm, atingindo 5.850 mm na Bolívia. O paricá é uma espécie essencialmente heliófila, não tolerando baixas temperaturas.

É uma espécie que pode apresentar bom desenvolvimento em solos de pouca fertilidade, porém seu crescimento é bastante reduzido em solos muito argilosos e pouco férteis, solos hidromórficos, compactados e com alto teor de alumínio tóxico (RIBEIRO, 2006). Segundo Vidaurre et al. (2006), nos plantios implantados foi observado bom desenvolvimento das plantas, com poucos problemas silviculturais, em solos com teores de argila abaixo de 65%.

2.1.5. Características silviculturais

A produção de mudas pode ser feita em saco de polietileno sem muita exigência quanto ao substrato e as mudas podem ser mantidas em viveiro com 50% de sombreamento ou à plena luz. Conforme Carvalho (2007), o

transplante é feito quando as mudas atingirem cerca de 30-60 cm de altura. De acordo com Pereira et al. (1982), a espécie *Schizolobium amazonicum* não apresenta problemas quanto à produção de mudas, isso porque, essa espécie apresenta excelente poder germinativo (85%). Conforme Souza et al. (2005), as mudas só serão repicadas para os sacos de polietileno (15 x 25 cm) após as plântulas em viveiro atingirem de 6 a 8 cm de altura. Os autores propõem que os sacos de polietileno contenham terra preta (60%), argila (15%) e material orgânico (25%).

Outra opção de produção de mudas de paricá é a utilização de tubetes. Um estudo feito por Caldeira et al. (2004), utilizando sementes de paricá provenientes do Pará, observou que a melhor condição para produção de mudas foi por tubetes com volume de 175 cm³, 6,0 cm de diâmetro interno por 13,0 cm de altura.

Segundo Costa et al. (1998), a melhor época para a realização dos plantios de paricá no estado do Pará é no período de setembro a janeiro. No momento do plantio, devem-se priorizar mudas vigorosas e uniformes, descartando as mudas de menor tamanho e com ataque de pragas ou doenças.

As empresas florestais estão desenvolvendo plantações de paricá em monocultura e também em sistemas consorciados com outras espécies com o intuito de testar vários espaçamentos. Assim, o espaçamento de plantio dependerá dos objetivos de cada projeto. Nos plantios puros de paricá voltados para a serraria, tem-se optado por espaçamentos mais amplos, que além de propiciarem árvores de diâmetros maiores, facilitam a mecanização durante os tratos culturais. De acordo com Costa et al. (1998), os espaçamentos mais adequados para plantios de paricá são 4 x 4 m ou 4,5 x 4,5 m, pois permitiram maior crescimento das plantas. Os autores verificaram ainda que nos plantios com espaçamento de 2,5 x 2,5 m ocorreram maior mortalidade das árvores, devido à intensa competição por luz e nutrientes e maiores riscos de quebra das árvores por ação do vento. Corroborando com os resultados encontrados por Costa et al. (1998), Rondon (2002) constatou que essa espécie deve ser

plantada a pleno sol nos espaçamentos de 4 m x 3 m ou 4 m x 4 m, por terem permitido maior crescimento da planta.

2.2. MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Os modelos de crescimento e produção são essenciais na avaliação de alternativas de manejo e permitem conhecer e prognosticar o crescimento e a produção de florestas plantadas ou nativas. Esses modelos são constituídos por um conjunto de relações matemáticas e tabelas que descrevem quantitativamente a dinâmica dos povoamentos florestais (CAMPOS e PAULA NETO, 1988). De maneira resumida, Campos e Leite (2009) definem crescimento como o processo de mudanças no tamanho e forma do tronco, e produção como a quantidade total acumulada do volume, ou outra variável, ao longo do tempo.

Os modelos de crescimento e produção são importantes para a obtenção de informações, que além de propiciarem o conhecimento do comportamento do povoamento, auxiliam na tomada de decisão das alternativas de manejo e das práticas silviculturais que devem ser adotadas. Segundo Silva (2001), o manejador necessita de predições exatas do crescimento e produção dos povoamentos, bem como das possíveis consequências econômicas resultantes das alternativas de manejo. A quantificação e predição do crescimento e produção dos povoamentos florestais são fundamentais para fornecer informações que subsidiarão na tomada de decisão de atividades, como por exemplo, a determinação da idade ótima de colheita e simulações do efeito do desbaste (Guimarães, 1994).

Os modelos podem ser empíricos, que segundo Abreu et al. (2002), são os mais utilizados, e os modelos mecanísticos, que são construídos com base em conhecimentos biológicos. Os modelos empíricos de crescimento e produção são classificados de acordo com Davis e Johnson (1987) em: modelos em nível de povoamento, modelos de distribuição por classe de diâmetro e modelos em nível de árvores individuais.

Os modelos em nível de povoamento estimam o crescimento e a produção em termos de unidade de área independentemente da classe de

tamanho da árvore. Esses modelos estimam a produção a partir de variáveis do povoamento como: idade, área basal, índice de local e número de árvores. Campos e Leite (2009) citam que os principais modelos de povoamento total utilizados são os de Schumacher (1939), Buckman (1962) e Clutter (1963).

Nos modelos em nível de árvores individuais, o crescimento e a produção são obtidos por cada árvore individualmente, sendo que a produção do povoamento será a soma das produções individuais de cada árvore. Conforme Guimarães (1994), além das variáveis diâmetro, altura e qualidade do local, são incluídos nesse tipo de modelo os índices que indicam o grau de competição aos quais a árvore está submetida. Esses modelos ainda são poucos utilizados devido à complexidade e altos custos na obtenção dos dados quando comparados com os demais modelos.

Nos modelos de distribuição diamétrica, o crescimento e a produção são estimados por classe de diâmetro, fornecendo assim informações sobre a estrutura do povoamento. Segundo Scolforo (1998), ao utilizar uma função de distribuição diamétrica, é possível prever a probabilidade de ocorrência do número de árvores por classe de diâmetro e, conseqüentemente, analisar a estrutura dos povoamentos. O modelo de distribuição diamétrica permite também definir diferentes usos da madeira de acordo com suas dimensões. A principal característica dos modelos de distribuição diamétrica é a utilização da função densidade de probabilidade que descreve com precisão as mudanças na estrutura do povoamento. Segundo Soares (2006), as funções mais usadas são: Gama (NELSON, 1964), Log-Normal (BLISS e REINKER, 1964), Beta (CLUTTER e BENNETT, 1965; BURKHART e STRUB, 1974), Sb Johnson (HAFLEY e SCHREUDER, 1977), Weibull (BAILEY e DELL, 1973), Sbb de Johnson (SCHREUDER e HAFLEY, 1977), Exponencial e Normal (BAILEY, 1980).

A escolha e aplicação desses modelos irão depender da base de dados, do objetivo do manejo e dos recursos disponíveis (CLUTTER et al., 1983; DAVIS e JOHNSON, 1987).

2.3. MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Os modelos por classes de diâmetro são bastante difundidos por fornecerem informações mais detalhadas que os modelos de povoamento e por serem de utilização mais simples que os modelos para árvores individuais (FIGURA, 2010). Segundo Bailey e Dell (1973), a distribuição dos diâmetros é a ferramenta mais poderosa para caracterizar a estrutura de um povoamento florestal.

Os modelos de distribuição diamétrica podem ser utilizados para fornecer a proporção e o porte das árvores por classe de diâmetro. Nesse tipo de modelagem, é possível projetar o número de árvores por classe de diâmetro ao longo do tempo, facilitando assim o planejamento e simulação de algumas práticas silviculturais que são necessárias para o aumento da produção, como por exemplo, o desbaste. Segundo Burkhart et al. (1981) citados por Nogueira (2003), os modelos de distribuição diamétrica são flexíveis para analisar simulações de desbaste.

De acordo com Carelli Netto (2008), o estudo da distribuição diamétrica dos povoamentos florestais é importante no controle das atividades florestais a serem desenvolvidas e no conhecimento das produções futuras. A estrutura futura do povoamento é representada por um sistema de equações que utilizam como variáveis independentes características do povoamento.

Empregando os modelos de distribuição diamétrica, é possível obter informações sobre variáveis atuais e futuras do povoamento, graças à facilidade desses modelos descreverem a dinâmica do povoamento no tempo. Um sistema de predição atual e futura da produção, baseado em algumas das funções de distribuição, é imprescindível para definir antecipadamente estratégias de manejo dos povoamentos florestais, possibilitando prognosticar o crescimento e a produção florestal, inclusive dos múltiplos produtos da madeira (SCOLFORO e THIERSCHI, 1998).

Conforme Abreu (2000), os modelos de distribuição diamétrica têm como base as funções probabilísticas, permitindo descrever as alterações ocorridas na estrutura do povoamento, ou seja, expressam a frequência relativa esperada em cada classe de diâmetro. De forma resumida, a estrutura dos

povoamentos é estimada por meio de modelos de distribuição diamétrica, que correlacionam os coeficientes de funções probabilísticas com as características do povoamento. Para Wendling (2011), a Weibull é a função mais popular usada nos modelos de distribuição para dados florestais, devido sua flexibilidade para assumir diferentes formas e assimetrias, sendo assim, uma condição favorável para se aplicar no ajuste de dados provenientes de diferentes locais.

2.3.1. Função densidade de probabilidade Weibull

A função Weibull é superior em relação às demais funções, quando aplicada em amostras de distribuições diamétricas de florestas equiâneas (GUIMARÃES, 1994). Segundo o autor, uma das características diferenciais dessa função é que a mesma descreve curvas com diferentes pontos de inflexão, proporcionando maior capacidade de ajuste e alta precisão.

Segundo Leite (1990), a partir do momento em que foi introduzida no setor florestal por Bailey e Dell (1973), a função Weibull tem sido utilizada na maioria dos estudos de distribuição de frequência. Entre os trabalhos, pode-se citar o de Abreu et al. (2002), Nogueira et al. (2005), Santana (2008) e Figura (2010), que testaram o desempenho da função Weibull para representar a distribuição diamétrica em plantações de *Eucalyptus* spp, e Netto (2008), que analisou a dinâmica da distribuição diamétrica de *Pinus taeda* L.

A função densidade de probabilidade Weibull com três parâmetros é definida por:

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{x-\alpha}{\beta} \right)^{\gamma} \right], \text{ para } x > \alpha, \gamma > 0$$

em que:

x = centro da classe de diâmetro, em cm;

α = parâmetro de locação, início da curva;

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma, que define o tipo de curva,

O parâmetro de locação (α) controla a posição da curva sobre o eixo das abscissas e o parâmetro de escala (β) controla as dimensões que a curva assume. Já o parâmetro de forma (γ), está relacionado com as diferentes inclinações da curva.

O parâmetro α pode ser eliminado da função Weibull, isso é possível porque a retirada desse parâmetro da função acarreta em pequeno impacto na precisão das estimativas, uma vez que há baixa correlação desse parâmetro com características do povoamento (RUSTAGI, 1977, citado por NOGUEIRA, 2003). Ainda, de acordo com Figura (2010), a estimativa do parâmetro de locação é feita independentemente, seguindo muitas vezes critérios determinados pelo pesquisador, podendo alterar não só o início da curva, mas também os demais parâmetros da distribuição, comprometendo a precisão das frequências estimadas.

Existem vários métodos utilizados para o ajustamento da função Weibull. Segundo Scolforo (1998), o método da máxima verossimilhança, o método dos momentos e o método dos percentis são os que mais se destacam. Leite (1990) cita que, segundo Bailey e Dell (1973), o método de máxima verossimilhança é a melhor alternativa para ajustar essas funções, tendo como condição a disponibilidade de adequados programas computacionais. Um estudo feito por Zarnoch e Dell (1985), citados por Batista (1989), utilizando os métodos de máxima verossimilhança e dos percentis com o objetivo de testar o ajuste da distribuição de Weibull para povoamentos de *Pinus taeda*, concluiu que o método de máxima verossimilhança foi o mais preciso.

Conforme Prodan et al. (1997), a utilização de funções densidade de probabilidade, além de fornecer uma boa representação da estrutura do povoamento, é possível também projetar os parâmetros da função no tempo. Essa projeção pode ser feita por meio da técnica de recuperação de parâmetros, que primeiramente projetam algumas variáveis do povoamento (diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, idade) no futuro por meio

de equações de regressão, e a partir dessas equações ajustadas são obtidas as estimativas dos parâmetros.

Ainda, segundo Figura (2010), outra vantagem na utilização das funções probabilísticas é definir época de desbastes, tendo como referência a metodologia proposta por Nogueira et al. (2001), baseada no método dos ingressos percentuais. Com o uso da função densidade de probabilidade Weibull, é possível simular a distribuição diamétrica nas diferentes idades do povoamento. A partir dessa distribuição, o método consegue definir o número percentual de árvores que ingressam em idades consecutivas a partir de um determinado diâmetro diferenciador (*DD*), que é o ponto onde as duas distribuições consecutivas se igualam. Com os resultados dos ingressos, ajusta-se um modelo não linear em função da idade, e assim, encontra-se a idade técnica ideal para desbaste.

2.4. DESBASTES

O desbaste é normalmente utilizado no setor florestal para estimular o crescimento em diâmetro do povoamento. Essa prática silvicultural consiste em remover algumas árvores que estão pouco desenvolvidas, a fim de estimular o crescimento das árvores remanescentes de melhor qualidade. Conforme Glufke et al. (1997), com a eliminação de algumas árvores menores e deixando árvores de melhor qualidade, pode-se manter a área basal do povoamento quase inalterada e obter árvores de maiores diâmetros.

De acordo com Schneider e Schneider (2008), o crescimento acelerado em diâmetro ocorre quando há liberação de alguns indivíduos de povoamentos florestais muito densos. Ainda, segundo estes autores, esse crescimento é resultado de alguns fatores como: maior incidência de luz sobre a folhagem, maior espaço para as raízes e aumento da quantidade de água e nutrientes para as árvores remanescentes.

Quando o intuito é manejar plantações para serraria de forma a obter árvores de grande porte, o desbaste se torna essencial para o alcance desse objetivo. Conforme Schulz (1969) citado por Schneider e Schneider (2008), com o desbaste o potencial produtivo do sítio ficará disponível apenas para as

árvores de maior valor comercial, evitando a dispersão deste potencial para árvores de menor valor.

Segundo Campos e Leite (2009), a escolha do espaçamento inicial e o desbaste são práticas silviculturais que influenciam diretamente na produção de árvores de grande porte. Para Craib (1947) citado por Schneider e Schneider (2008), o espaçamento amplo e o desbaste proporcionam alcançar árvores com maior diâmetro e maior comprimento do fuste. Depois de realizado o desbaste, árvores de uma mesma classe diamétrica podem ingressar em classes de diâmetros superiores da que estavam em um curto espaço de tempo (SCHNEIDER, 1993). Corroborando com as informações acima, Clutter (1983) concluiu que o diâmetro das árvores cresce mais rápido em povoamentos desbastados do que em povoamentos não desbastados.

2.4.1. Método da máxima curvatura e modelo expolinear

O método da máxima curvatura é utilizado para estimar o tamanho da parcela em experimentos e amostragens, sendo o tamanho ótimo da parcela correspondente ao ponto de máxima curvatura e é obtido por meio de uma equação de regressão.

Conforme Silva (2010), o método consiste em calcular os coeficientes de variação (CV) de cada tamanho (X) de parcela, obtendo assim um conjunto de pontos (X, CV) , que podem ser relacionados num sistema de eixos coordenados. Em seguida, é traçada uma curva, e visualmente é possível localizar o ponto de máxima curvatura, obtendo assim o tamanho ótimo da parcela, que será o valor correspondente à abscissa do ponto de máxima curvatura. Conforme Goelzer (2010), esse ponto representa o momento em que o coeficiente de variação passa a ser insignificante.

Com o objetivo de determinar o tamanho ótimo da parcela de forma algébrica, Lessman e Atkins (1963) estabeleceram uma função para explicar a relação entre coeficiente de variação (CV) e tamanho da parcela, de acordo com a equação:

$$CV = \left(\frac{a}{X^b} \right) \quad (1)$$

em que:

CV = é o coeficiente de variação por unidade básica,

a e b = são constantes apropriadas,

X = é o número de unidades básicas.

O valor da abscissa no ponto de curvatura máxima, segundo Meier e Lessman (1971) citados por Silva (2010), é dado pela seguinte fórmula:

$$X_0 = \left(\frac{a^2 b^2 (2b+1)}{(b+2)} \right)^{\frac{1}{(2b+2)}} \quad (2)$$

em que:

X₀ = é o valor da abscissa correspondente ao ponto de máxima curvatura;

a e b = são parâmetros do modelo.

Utilizando os princípios desse método, é possível relacionar o ingresso percentual de árvores em novas classes de diâmetro com a idade do povoamento. Nesse caso, o ponto de máxima curvatura corresponderá à idade técnica de desbaste, momento este em que o ingresso passa a ser não significativo. Outra maneira de calcular a idade técnica de desbaste, por meio do estudo da significância dos ingressos percentuais, é a utilização do modelo expolinear (Goudriaan, 1994, citado por Nogueira, 2003), cuja relação funcional é:

$$IP = \left(\frac{\alpha}{\beta} \right) \text{Ln} [1 + e^{\beta(I-ITD)}] + \varepsilon \quad (3)$$

em que:

IP = ingresso percentual de árvores;

I = idade do povoamento, em meses;

α_1 = parâmetro que indica o crescimento máximo absoluto do ingresso porcentual de árvores na fase linear da curva;

β = parâmetro que indica o crescimento máximo relativo do ingresso porcentual de árvores na fase exponencial da curva;

\ln = logaritmo neperiano;

ITD = parâmetro que indica o momento da mudança da fase linear para a fase exponencial da curva, correspondendo à idade técnica de desbaste; e

ϵ = erro aleatório.

A fase linear da curva indica que está ocorrendo um ingresso significativo de árvores em sucessivas classes de diâmetro. Já a fase exponencial da curva, indica que esse ingresso de árvores não é mais significativo. A idade técnica de desbaste é representada pelo parâmetro ITD do modelo expolinear.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF: Ano base 2010**. Brasília: ABRAF, 2011, 130 p.

ABREU, E. C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, H. K. Modelagem par prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: n. 61, p. 86-102, 2002.

ABREU, E. **Modelagem da prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. Lavras: UFLA, 2000. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

BATISTA, J. L. F. **A função Weibull como modelo para distribuição de diâmetro de espécies arbóreas tropicais**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1989. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 1989.

BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distributions with the Weibull function. **Forest Science**: v. 19, n. 2, p. 97-104, 1973.

BAILEY, R.L. Individual tree growth derived from diameter distribution models. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 626-632, 1980.

BLISS, D.M.; REINKER, K. A.A lognormal approach to diameter distribution in even age stands. **Forest Science**, v. 10, n. 3, p. 350-360, 1964.

BUCKMAN, R. E. **Growth and yield of red pine in Minnesota**. Washington, DC: USDA, 1962. (Technical bulletin, 1272).

BURKHART, H.E.; STRUB, M.R. A model for simulation of planted loblolly pine stands. In: FRIES, J. (Ed.) **Growth models for tree and stand simulation**. Stockholm: Royal College of Forestry, 1974. p. 128-135.

CALDEIRA, S. F.; LIMA, M. de F.; BEZERRA, R. G. Desenvolvimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. **Revista Agricultura Tropical**, Cuiabá: v. 8, n. 1, p. 100-111. 2004.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 548 p.

CAMPOS, J.C.C.; PAULA NETO, F. Experiências em inventário e mensuração florestal. In: I Simpósio de Pesquisa na UFV. Viçosa-MG, p. 80-81, 1988.

CARVALHO, P. E. R. **Paricá: *Schizolobium amazonicum***. Colombo, PR: EMBRAPA. 2007. ISSN 1517–5278. (Circular Técnica 142)

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 470-475.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Wiley and Sons. 1983. 333 p.
- CLUTTER, J.L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations**. Georg. For. Res. Council., 1965. 9p. (Report, 13).
- COLLI, A. **Caracterização da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco (*Cocos nucifera* L.)**. Viçosa: UFV, 2007. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- CORDEIRO, I. M. C. C. **Comportamento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby e *Ananas comosus* var. *erectifolius* (L. B. Smith) Coppens Leal sob diferentes sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará (PA)**. Belém: UFRA, 2007. 115 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, 2007.
- COSTA, D. H. M.; REBELLO, F. K.; D'ÁVILA, J. L.; SANTOS, M. A. S.; LOPES, M. L. B. **Alguns aspectos silviculturais sobre o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber)**. Belém: Banco da Amazônia. 1998. 19 p. (Série Rural 2).
- DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.
- FIGURA, M. A. **A distribuição de Weibull na descrição da estrutura diamétrica de *Eucalyptus grandis*: um enfoque sobre o método dos momentos**. Curitiba: UFPR, 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.
- GALEÃO, R. R.; MARQUES L. C. T.; YARED J. A. G.; FERREIRA C. A. P. Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber): espécie florestal de uso múltiplo com alto potencial para reflorestamento na Amazônia brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**: n. 44, p. 157-162, 2005.
- GALEÃO, R. R. **Diagnóstico dos projetos de plantação florestal no estado do Pará**. FCAP: Belém, 2000. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, PA, 2000.
- GLUFKE, C.; FINGER, C. A. G.; SCHENEIDER, P. R. Crescimento de *Pinus elliottii* sob diferentes intensidades de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria: v. 7, n. 1, p. 11-26, 1997.

GOELZER, A. M. Tamanho ótimo de parcelas para experimentação de campo em tabaco tipo Burley e Virgínia. Porto Alegre: UFRGS. 2010. 62 f. Monografia (Graduação em Estatística) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010.

GUIMARAES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. Viçosa: UFV. 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

HAFLEY, W.L.; SCHREUDER, H.T. Statistical distributions for fitting diameter and height data in even-aged stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 7, p. 481-487, 1977.

HOFFMANN, R. G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA**. Jerônimo Monteiro: UFES. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2009.

LEITE, H. G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith**. Viçosa: UFV. 1990. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

LESMAN, K. J.; ATKINS, R. E. Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield tests. **Crop Science**, Madison, v.3, p. 477- 481, 1963.

MATSUBARA, R. K. **Caracterização dendrológica e física de cinco espécies arbóreas de ocorrência no estado de Mato Grosso**. Cuiabá: UFMT. 2003. 85 f. Monografia (Especialização em Produtos Florestais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2003.

NELSON, T.C. Diameter distribution and growth of loblolly pine. **Forest Science**, v.10, n.1, p.139-153, 1964.

NETTO, C. C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. Santa Maria: UFSM, 2008. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L. de; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n. 59, p. 51-59, jun, 2001.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. de. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 29, n. 4, p. 579-589, 2005.

NOGUEIRA, G. S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. Viçosa: UFV, 2003. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L. de.; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: n. 59, p. 51-59, 2002.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose, Costa Rica, IICA/GTZ, 586 p., 1997.

RIBEIRO, M. S. **Manejo de sistemas agroflorestais com paricá (*Schizolobium amazonicum* huber) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) walp.) em área de vegetação secundária, em Bragança – Pará**. Belém: UFRA, 2006. 92 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

RONDON, E. V. Comportamento de essências florestais nativas e exóticas no norte de Mato Grosso. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos Técnicos...** Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000. 68 p.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

ROSSI, L. M. B.; QUISEN, R. C. *Schizolobium amazonicum* Ducke: a multipurpose tree in Rondonia, Brazil. In: ALTERNATIVES TO SLASH-AND-BURN ANNUAL REVIEW MEETING, 6., 1997, Bogor. **Posters Abstracts...** Nairobi: ICRAF, 1997. 9 p.

SANTANA, C. J. O. **Simulação do crescimento e da produção em plantações desbastadas de *Eucalyptus grandis* com diferentes procedimentos de obtenção dos parâmetros da distribuição Weibull**. Curitiba: UFPR, 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SCHREUDER, H.T.; HAFLEY, W.L. A useful bivariate distribution for describing stand structure of tree heights and diameters. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 471-488, 1977.

SCHUMACHER, F. X. A new growth curve and its application to timber studies. **Journal of Forestry**, v.37, p. 819-820, 1939.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 441 p.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCHI, A. Estimativas e testes da distribuição de frequência diamétrica para *Eucalyptus camaldulensis*, através da distribuição SB, por diferentes métodos de ajuste. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: n. 54, p. 93-106, 1998.

SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. Viçosa: UFV, 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SILVA, W. C. **Comparação de métodos para estimar o tamanho ótimo de parcela em bananeira**. Viçosa: UFV, 2010. 37 f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SIVIERO, M. A. Paricá: a vedete do reflorestamento. **Diário do Pará**, Belém: 27 jan., 2006. Regional, p. A-8. Entrevista

SOARES, T. S. **Avaliação de modelos de distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto não desbastados**. Viçosa: UFV, 2006. 63 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

SOUZA, D. B.; CARVALHO, G. S.; RAMOS, E. J. A. **Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke)**. Pará: Rede de Sementes da Amazônia, 2005. 2 p. (Informativo Técnico)

SOUZA, C. R.; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P, VIEIRA, A. H. **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber x Ducke) Barneby**. Embrapa Manaus, 2003. 11 p. (Circular Técnica, 18).

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica**. Viçosa: UFV, 2010. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

VIDAURRE, G. B.; ZANETI, L.; COLLI, N. R. Paricá uma espécie promissora. **Revista da madeira**: n. 97, 2006.

WENDLING, W. T. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Revista Floresta**, Curitiba: v. 41, n. 2, p. 205-220, 2011.

CAPÍTULO I

IDADE TÉCNICA DE DESBASTE PARA PLANTIOS DE PARICÁ

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo determinar e projetar as distribuições diamétricas do paricá; avaliar o movimento dos diâmetros nas diferentes idades, utilizando o método de Ingressos Percentuais e calcular as idades técnicas de desbaste, nos diferentes espaçamentos. Para a realização do trabalho, foram obtidos dados de povoamentos compostos por árvores plantadas em diferentes espaçamentos (3 X 2, 3 X 3, 4 X 3, 4 x 4 e 5 X 5 metros), sendo que para cada espaçamento foram inventariadas 10 parcelas em cada idade. Inicialmente, foram estimadas as frequências diamétricas para cada parcela observada e em cada idade por meio do ajuste da função Weibull, e em seguida foram projetadas as distribuições diamétricas futuras utilizando equações de regressão. Depois de encontradas as frequências diamétricas, foram obtidos os ingressos percentuais médios para cada parcela por meio de um algoritmo específico. A partir dos ingressos percentuais, foi ajustado um modelo de regressão não linear, e por meio desse modelo, foram calculadas as idades técnicas de desbaste para cada espaçamento com base nos princípios do método da máxima curvatura. O emprego da função Weibull para estimar as frequências diamétricas foi consistente e apresentou estimativas semelhantes entre as frequências observadas e estimadas. O sistema de equações de regressão utilizado foi eficiente para projetar as distribuições diamétricas futuras. O método dos ingressos percentuais foi adequado para determinar a idade técnica de desbaste, por considerar toda a estrutura do povoamento e facilitar na análise da estagnação do crescimento. A idade técnica de desbaste tende ser mais tardia em espaçamentos maiores, uma vez que a competição entre as plantas começa mais tarde.

Palavras-chave: espaçamento, ingressos percentuais, desbaste.

ABSTRACT

This chapter aimed to determine and project the paricá diameter distributions; to evaluate the diameters movement at different ages, using the Percentual Entries method and to calculate the technical thinning ages, at different spacings. To conduct the study, data were obtained from stands composed of trees planted at different spacings (3 X 2, 3 X 3, 4 X 3, 4 x 4 and 5 X 5 meters), and for each spacing 10 plots were inventoried in each age. Initially, the diameter frequencies were estimated for each observed plot at each age by adjusting the Weibull function, and then the future diameter distributions were projected using regression equations. After finding the diameter frequencies, the average percentual entries were obtained for each plot using a specific algorithm. From the percentual entries, a nonlinear regression model was adjusted, and through this model, the technical thinning ages were calculated for each spacing, based on the principles of the maximum curvature method. The use of the Weibull function to estimate the diameter frequencies was consistent and showed similar estimates between the observed and estimated frequencies. The used regression equations system was efficient to project future diameter distributions. The percentual entries method was adequate to determine the technical thinning age, because it considers the whole stand structure and it facilitates the analysis of growth stagnation. The technical thinning age tends to be later in greater spacings, since the competition between the plants begins later.

Keywords: spacing, percentual entries, thinning.

1. INTRODUÇÃO

É tradicional, na área florestal, o emprego de modelos de crescimento e produção, que são utilizados para descrever a dinâmica do povoamento e prever a produção ao longo do tempo, sendo essenciais no planejamento das atividades de manejo florestal, auxiliando assim, na tomada de decisão. Segundo Tomé (1999), os modelos de produção têm um importante papel no ordenamento florestal e na definição de políticas florestais.

Os modelos que permitem estimar o crescimento e a produção por classes de diâmetro são denominados modelos de distribuição diamétrica. Para gerar esses modelos, uma alternativa é a utilização de funções densidade de probabilidade (f,d,p,) que caracterizam a distribuição diamétrica de povoamentos florestais. A função Weibull tem sido uma das mais empregadas na modelagem de povoamentos florestais. Segundo Campos e Turnbull (1981), essa função apresenta superioridade em relação às demais devido a sua flexibilidade e à facilidade de relacionar, de forma significativa, seus parâmetros com características importantes do povoamento.

Com o emprego dos modelos de distribuição diamétrica, é possível estimar o número de árvores por classes de diâmetro nas idades presente e futura, fazendo prognose das distribuições futuras a partir de informações atuais. Dessa forma, esses modelos permitem determinar o momento ótimo de realizar o desbaste.

Garcia e Leite (1999) propuseram uma nova metodologia, fundamentada na dinâmica de crescimento e no ingresso das árvores em sucessivas classes de diâmetros, com o intuito de determinar a idade técnica do desbaste. O momento ótimo de desbastar pode ser determinado empregando-se o Método dos Ingressos Porcentuais (MIP), proposto por Garcia (1999) e utilizado por Nogueira et al. (2001).

Devido à importância na atualidade da madeira da espécie *Schizolobium amazonicum*, o desbaste é dentre os tratamentos silviculturais, o mais indicado para a produção de árvores de grande porte em menor tempo. Quando um povoamento é desbastado, aumenta-se o espaço para o

crescimento das árvores remanescentes, concentrando o mesmo em um menor número de árvores com taxa de crescimento maior. O desbaste é uma técnica utilizada com o objetivo de diminuir o tempo necessário para as árvores atingirem o tamanho adequado para a colheita.

A definição do espaçamento é importante, pois influencia na taxa de crescimento das árvores e na época de desbaste a ser realizado, principalmente para as espécies de rápido crescimento. Segundo Leles et al. (1998), o espaçamento inadequado pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta, em razão da intensa competição intraespecífica por água, nutrientes, luz e espaço.

Árvores com espaçamentos amplos crescem mais rapidamente do que em espaçamentos menores e terão, em uma determinada idade, maior diâmetro, maior conicidade, casca mais grossa e maior copa (SMITH et al., 1997 citado por TONINI, 2003).

A escolha da época de desbaste é uma informação importante no manejo dos plantios de paricá, pois evita o corte das árvores em idades muito jovens e conseqüentemente diminui perdas e qualidade dos produtos obtidos. Diante do exposto, entre os objetivos deste capítulo, destacam-se: determinar as distribuições diamétricas do paricá nas idades de 24, 36, 48 e 60 meses; projetar as distribuições diamétricas para as idades de 72, 84, 96 e 108 meses; avaliar o movimento dos diâmetros nas diferentes idades, utilizando o método de Ingressos Percentuais e calcular as idades técnicas de desbaste.

2. METODOLOGIA

2.1. DADOS

Este estudo foi realizado com dados coletados de inventários florestais contínuos em povoamentos puros não desbastados de *Schizolobium amazonicum*, situados entre os municípios de Dom Eliseu e Paragominas, Estado do Pará, pertencentes a empresa Laminit. Os povoamentos são compostos por árvores plantadas em diferentes espaçamentos (3 X 2, 3 X 3, 4 X 3, 4 x 4 e 5 X 5 metros), sendo que para cada espaçamento foram inventariadas 10 parcelas em cada idade. As parcelas permanentes apresentam áreas variando de 168 a 288 m² e foram medidas aos 24, 36, 48, e 60 meses. Em cada árvore, mediu-se o diâmetro a 1,30 metros de altura (*DAP*), e a altura total da árvore (*H*). Os volumes foram obtidos por meio de cubagem rigorosa utilizando a fórmula de Smalian, conforme Husch et al., (1972).

2.2. AJUSTE DO MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

2.2.1. Frequências diamétricas

Para estimar as frequências diamétricas para cada parcela em cada idade, foi empregada a função densidade de probabilidade Weibull com dois parâmetros, cuja relação funcional é:

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma-1} \exp \left[- \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma} \right] \quad (1)$$

A função de distribuição acumulada da Weibull é assim definida:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma} \right] \quad (2)$$

em que:

x = centro da classe de diâmetro, em cm; sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$, $\gamma > 0$

β = parâmetro de escala;

γ = parâmetro de forma.

A partir dos dados de distribuição diamétrica de cada parcela em cada idade, foi ajustada uma função Weibull, totalizando assim 40 funções para cada espaçamento estudado. Os dados foram agrupados em classes diamétricas com 2 cm de amplitude. Os cálculos das probabilidades de ocorrência de árvores em cada classe diamétrica foram realizados utilizando a equação:

$$P(a < X < b) = \exp\left[-\left(\frac{a}{\beta}\right)^\gamma\right] - \exp\left[-\left(\frac{b}{\beta}\right)^\gamma\right]$$

(3)

em que:

P = proporção de árvores na classe diamétrica "i";

a = limite inferior da classe diamétrica "i";

b = limite superior da classe diamétrica "i".

2.2.2. Ajuste da f.d.p. Weibull pelo método da máxima verossimilhança

A função Weibull foi ajustada empregando-se o método da máxima verossimilhança, por meio de aplicativo computacional proposto por Pelli (2007), para ajuste da função Weibull em povoamentos florestais, utilizando a linguagem C++. Esse aplicativo é uma implementação de um algoritmo publicado por Gove e Fairweather (1989).

2.2.3. Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

A avaliação da qualidade de ajuste das funções Weibull foi realizada por meio do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. O teste foi realizado para testar a hipótese de nulidade de que os diâmetros observados seguem a

distribuição Weibull estimada pelo método de máxima verossimilhança, a 5% de probabilidade.

Assim, o teste de Kolmogorov-Smirnov compara a probabilidade da frequência acumulativa estimada com a probabilidade da frequência acumulativa observada. O ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor D_n calculado de Kolmogorov-Smirnov:

$$D_n = \text{MAX } |F(X) - S(X)| \quad (4)$$

em que:

D_n = maior diferença entre as distribuições;

$F(X)$ = frequência acumulada estimada;

$S(X)$ = frequência acumulada observada.

Se o valor obtido no cálculo do D_n for maior do que o D_n tabelado de Kolmogorov-Smirnov (n = número de árvores por parcela; 5%), significará que o maior valor da divergência é significativo.

Nas parcelas em que o teste foi significativo, empregou-se o método de percentis para obter β e γ , por meio de planilhas eletrônicas de acordo com a metodologia implementada por Wendling et al. (2011).

2.2.4. Projeções diamétricas para idades futuras

A distribuição diamétrica futura foi projetada com base em distribuições diamétricas atuais. Assim, foram obtidas equações de regressão para estimar os parâmetros da f.d.p. aos 72, 84, 96 e 108 meses, utilizando como variáveis independentes características do povoamento, como as idades atuais e futuras, os diâmetros máximos, e os números de árvores atuais e futuros, bem como os próprios parâmetros da função Weibull estimados em uma primeira ocasião (idade atual).

O ajuste do modelo foi feito a partir da combinação do conjunto de dados das características do povoamento nos diferentes espaçamentos, e nas quatro idades (24, 36, 48 e 60 meses) em que foram realizadas as medições.

O modelo de distribuição diamétrica utilizado para estimar os parâmetros da f.d.p, em uma segunda ocasião e obtenção da distribuição diamétrica futura, é composto pelo sistema de equações a seguir:

$$d \max_2 = d \max_1 \exp(-a_1(I_2^{a_2} - I_1^{a_2})) \quad (5)$$

$$\text{Ln}\gamma_2 = \text{Ln}\gamma_1 \exp(-a_3(I_2^{a_4} - I_1^{a_4})) \quad (6)$$

$$N_2 = N_1 \exp(-a_5(I_2^{a_6} - I_1^{a_6}))$$

(7)

$$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + a_7 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) d \max_2 \quad (8)$$

em que:

I_2 = idade futura, em meses;

I_1 = idade atual, em meses;

γ_2 = parâmetro de forma da função Weibull em I_2 ;

γ_1 = parâmetro de forma da função Weibull em I_1 ;

β_2 = parâmetro de escala da função Weibull em I_2 ;

β_1 = parâmetro de escala da função Weibull em I_1 ;

$d \max_2$ = diâmetro máximo em I_2 , em cm;

$d \max_1$ = diâmetro máximo em I_1 , em cm;

N_2 = número de árvores por hectare em I_2 ;

N_1 = número de árvores por hectare em I_1 .

Para o ajuste das equações, utilizou-se o Método dos Mínimos Quadrados Ordinários, empregando o procedimento iterativo Quasi-Newton.

2.2.5. Avaliação dos modelos de distribuição diamétrica

A avaliação individualizada das equações foi feita para garantir precisão das estimativas, utilizando-se as estatísticas coeficiente de determinação ajustado, Erro Padrão da Estimativa e análise gráfica dos resíduos.

- Coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2)

O \bar{R}^2 foi calculado de acordo com o proposto por Kvalseth (1985), recomendado para qualquer tipo de modelo (linear ou não-linear), isto é:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} ; \bar{R}^2 = 1 - a(1 - R^2) \quad \text{e} \quad (9)$$

$$a = \left(\frac{n-1}{n-p-1} \right), \text{ se o modelo inclui o intercepto (p + 1 parâmetros)}$$

$$a = \left(\frac{n}{n-p} \right), \text{ se o modelo não inclui o intercepto (p parâmetros)}$$

em que:

Y_i = i-ésimo valor observado para a variável dependente Y;

\hat{Y}_i = i-ésimo valor estimado para a variável dependente Y;

\bar{Y} = média dos valores observados para a variável dependente Y;

n = número de observações,

$n - p - 1$ = número de graus de liberdade do resíduo se o modelo inclui o intercepto;

$n - p$ = número de graus de liberdade do resíduo se o modelo não inclui o intercepto

- Erro Padrão da Estimativa ($S_{y.x}(\%)$)

$$S_{y.x} (\%) = 100 S_{y.x} / \bar{Y}, \text{ sendo } S_{y.x} \text{ o desvio padrão residual.} \quad (10)$$

- Análises de resíduos

Ainda, no sentido de avaliar a precisão das equações estimadas, foram feitas análises gráficas dos resíduos,

$$e(\%) = \left(\frac{Y_{Obs} - Y_{Est}}{Y_{Obs}} \right) 100 \quad (11)$$

em que:

$e(\%)$ = Resíduo da regressão, em percentagem;

Y_{Obs} = Variável observada;

Y_{Est} = Variável estimada.

2.3. CÁLCULO DA IDADE TÉCNICA DE DESBASTE UTILIZANDO O MÉTODO DE INGRESSOS PERCENTUAIS

O momento ótimo de realizar o desbaste ocorre quando o número ou a percentagem de árvores que estão ingressando nas classes sucessivas superiores não for significativo.

Em resumo, os principais passos utilizados para decidir o momento ótimo de realizar o desbaste utilizando o método de ingressos percentuais, para cada espaçamento, foram:

a) Ajustar a função Weibull para cada parcela, em cada idade (24, 36, 48, 60 meses), utilizando-se dados agrupados em classes.

b) Ajustar um modelo de distribuição diamétrica, com o intuito de projetar as distribuições diamétricas para as idades de 72, 84, 96 e 108 meses.

c) Após serem obtidas as distribuições diamétricas para cada parcela nas idades de 24, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 108 meses, foi determinado o ingresso percentual médio (IPM) para cada parcela nas idades consecutivas, I_n e I_{n+1} .

O ingresso de árvores em novas classes de diâmetro corresponde ao ingresso a partir do diâmetro em que duas funções densidade de probabilidade se igualam, sendo este diâmetro denominado de diâmetro diferenciador (*DD*), conforme a Figura 1.

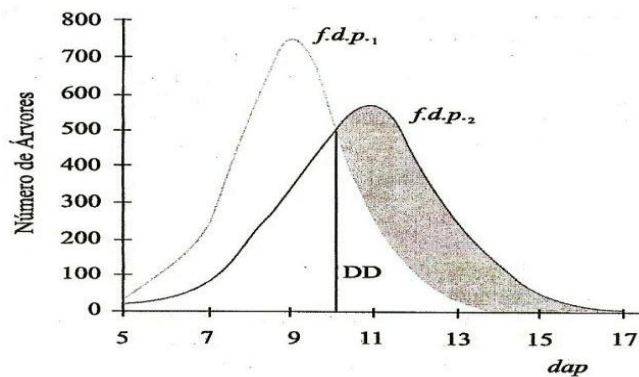


Figura 1. Esquema ilustrando duas funções densidade de probabilidade em duas idades, o ingresso de árvores em novas classes de diâmetros e o diâmetro diferenciador (DD). (Fonte: GARCIA,1999)

Os valores dos ingressos percentuais foram obtidos utilizando um algoritmo proposto por Garcia e Leite (1999). Para encontrar os ingressos percentuais para cada parcela, é necessário obter as seguintes variáveis: número de árvores por hectare, parâmetro de escala e forma da função Weibull, na idade atual e futura.

d) Ajustar uma equação de regressão relacionando o ingresso percentual médio de árvores em função da idade.

A partir dos ingressos percentuais obtidos de acordo com o item c, foi ajustado um modelo de regressão para cada espaçamento. Foi utilizado o seguinte modelo logístico (12):

$$IPM = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1 * EXP(-\beta_2 * I)} + \varepsilon \quad (12)$$

IPM = ingresso percentual médio de árvores;

I = idade do povoamento, em meses;

β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros a serem estimados;

ε = erro aleatório.

Esse modelo foi ajustado utilizando o algoritmo Quasi-Newton.

e) Calcular a idade técnica de desbaste,

A idade técnica de desbaste, para cada espaçamento, foi calculada com base nos princípios do método da máxima curvatura e de acordo com a Figura 2. Os principais passos desenvolvidos foram:

e.1) Ajustar a equação da reta (F_R) a partir dos dois pontos de interseção entre as funções F_L (Função logística) e F_R .

$$IPM = \alpha_0 + \alpha_1 I + \varepsilon \quad (13)$$

e.2) A partir das funções ajustadas de acordo com o item d, obter uma equação que represente a diferença entre as funções F_R e F_L (IPM_d).

$$IPM_d = \alpha_0 + \alpha_1 I - \frac{\beta_0}{1 - \beta_1 * EXP(-\beta_2 * I)} \quad (14)$$

e.3) Obter a derivada da equação encontrada no item e.2.

$$\frac{d_{IPM_d}}{d_I} = \alpha_0 + \alpha_1 I - \frac{\beta_0}{1 - \beta_1 * EXP(-\beta_2 * I)} \quad (15)$$

e.4) Igualar a derivada a zero com o intuito de calcular a idade técnica de desbaste (I_{TD}) que proporcione a maior diferença (d) entre as duas funções F_R e F_L .

$$0 = \alpha_0 - \left(\frac{\beta_1 * \beta_2 * \beta_3}{EXP(\beta_3 * ITD) / (\beta_2 / EXP(\beta_3 * ITD) + 1)^2} \right) \quad (16)$$

e.5) A idade ótima (I_o) refere-se à idade técnica de desbaste, na qual a partir desta idade o ingresso percentual médio das árvores passa a ser não significativo. A idade técnica de desbaste foi calculada com a utilização da ferramenta Solver do Microsoft Office Excel.

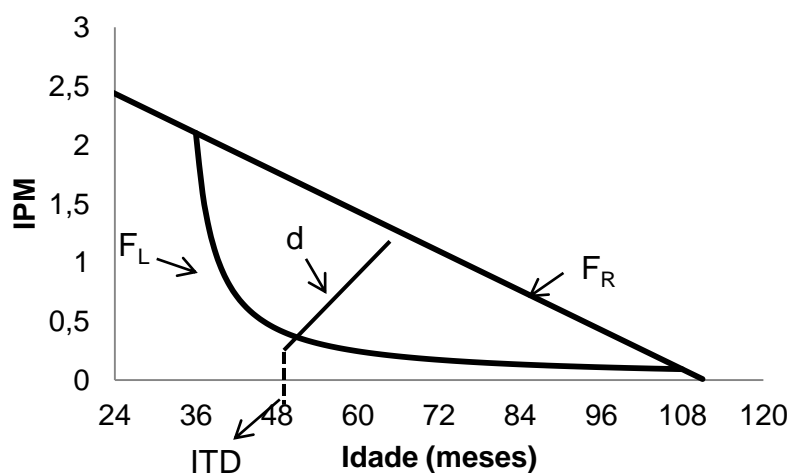


Figura 2. Esquema relacionando o ingresso percentual médio de árvores com a idade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA OBSERVADA E ESTIMADA

Com os parâmetros da distribuição Weibull, foram determinadas as probabilidades e o número de árvores por hectare (N/ha) por classe diamétrica, para cada parcela e espaçamento nas diferentes idades. Para a maioria das parcelas, a comparação da distribuição diamétrica observada com a estimada pelo método da máxima verossimilhança, os resultados foram não significativos pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade. Para as parcelas em que o teste foi significativo, aplicou-se o método de percentis e verificou-se por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov aderência dos dados a distribuição Weibull. Assim, o método de máxima verossimilhança foi eficiente no ajuste da função por parcela, apresentando menores valores da estatística D_n de Kolmogorov-Smirnov em 192 parcelas do total de 200 parcelas estudadas.

Nota-se também que a função Weibull apresentou boa flexibilidade em relação aos métodos de ajuste testados, que proporcionaram um bom ajuste em relação às frequências observadas. É possível, por meio da Figura 3, fazer uma interpretação visual dos ajustes de algumas parcelas nos diferentes espaçamentos, mostrando que a função Weibull apresentou um bom

desempenho na estimação das frequências de árvores por classe de diâmetro em relação à distribuição de diâmetros observada, e que a utilização desta função para descrever a estrutura diamétrica de povoamentos de paricá foi satisfatória.

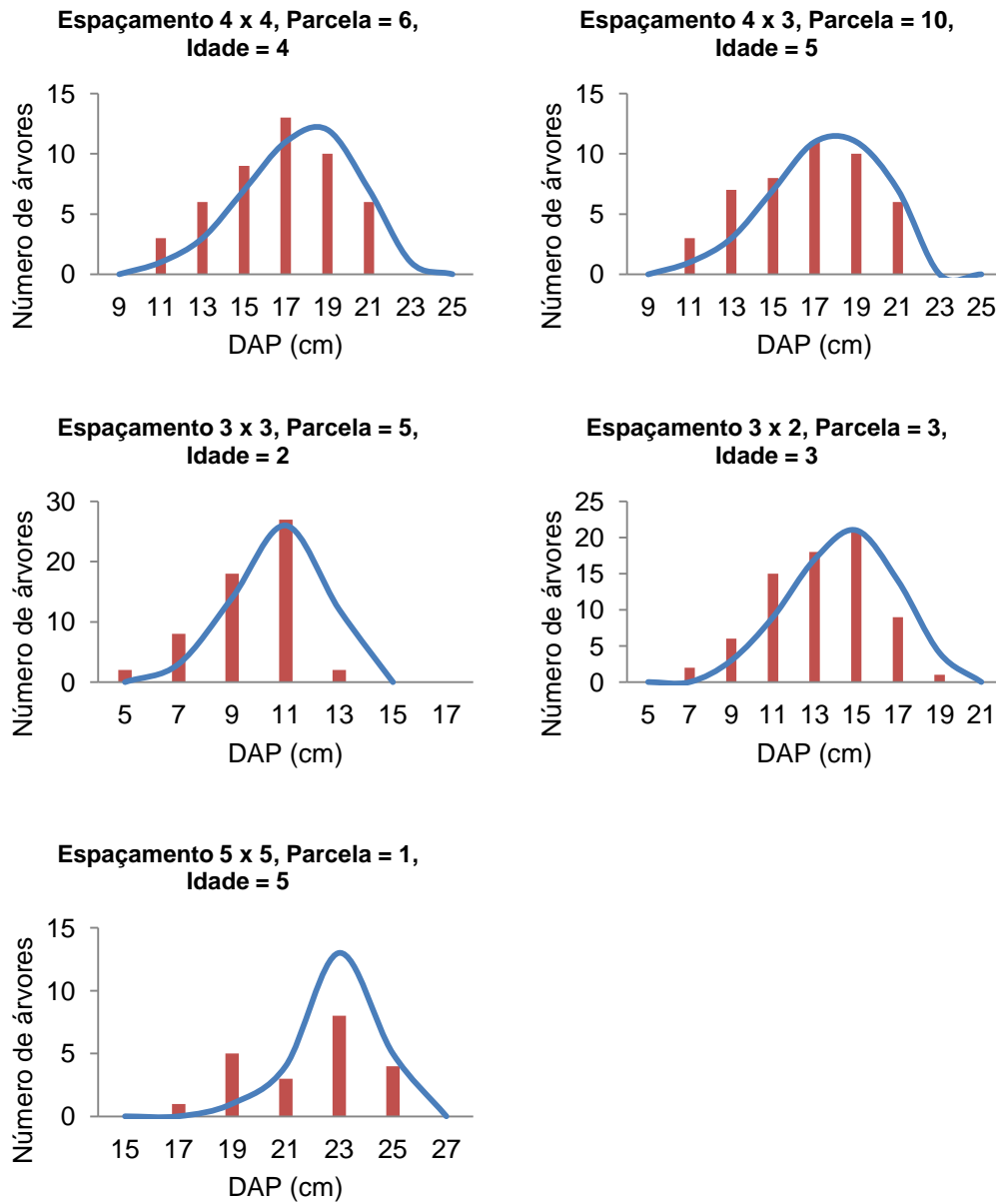


Figura 3. Frequência observada e estimada pela função Weibull de algumas parcelas para cada espaçamento.

3.2. PROJEÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

3.2.1. Avaliação do modelo de distribuição diamétrica

O sistema de equações apresentados na Tabela 1 teve desempenho aceitável para estimar projeção da distribuição diamétrica futura, indicando que as variáveis independentes da equação explicam as variáveis dependentes. Com base nesta Tabela, é possível observar que a estimação dos parâmetros da função Weibull em uma idade futura, em função dos parâmetros observados em uma idade atual, gera estimativas precisas. Percebe-se que as equações mais precisas foram as de diâmetro máximo e número de árvores, as quais apresentaram maiores valores de coeficiente de determinação e menores valores de erro padrão da estimativa.

Ainda, analisando as estatísticas encontradas, já era esperado encontrar menor valor de \bar{R}^2 e maior valor de $S_{y,x}(\%)$ para o ajuste da equação do parâmetro de forma da função Weibull (γ) em relação às demais funções. Isso ocorre porque a equação referente ao parâmetro γ não contém nenhuma variável relacionada ao povoamento que explica suas variações, ao contrário da equação que estima o parâmetro de escala da função Weibull (β), que contém o diâmetro máximo como uma de suas variáveis independentes.

Avaliando modelos de distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto, Soares (2006) encontrou \bar{R}^2 para a equação ajustada do parâmetro de forma da função Weibull, menor que 50%, indicando que a equação ajustada para o parâmetro de forma da função Weibull neste trabalho encontra-se em um patamar aceitável.

Tabela 1. Equações ajustadas para as diferentes variáveis e suas respectivas medidas de precisão

Equações	\bar{R}^2	$S_{y,x}(\%)$
$Dmax_2 = Dmax_1 * \exp(1436,9(l_2^{-2,47} - l_1^{-2,47}))$	82,00	4,42

$Lm\gamma_2 = Lm\gamma_1 \cdot \exp(0,013(l_2^{0,3634} - l_1^{0,3634}))$	74,96	10,67
$\beta_2 = \beta_1 \left(\frac{l_1}{l_2}\right) + 1,1015 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) dmax_2$	80,63	5,67
$N_2 = N_1 \cdot \exp(-213,7(l_2^{-0,00035} - l_1^{-0,00035}))$	98,73	4,75

Complementando as análises das medidas de precisão, na Figura 4, é apresentado o comportamento residual das estimativas de diâmetro máximo, número de árvores e os parâmetros beta e gama, obtidos para as idades futuras. Observa-se que, de forma geral, o ajuste foi preciso para todas as variáveis projetadas. Porém, existe uma ligeira tendência em superestimar o parâmetro beta da função Weibull.

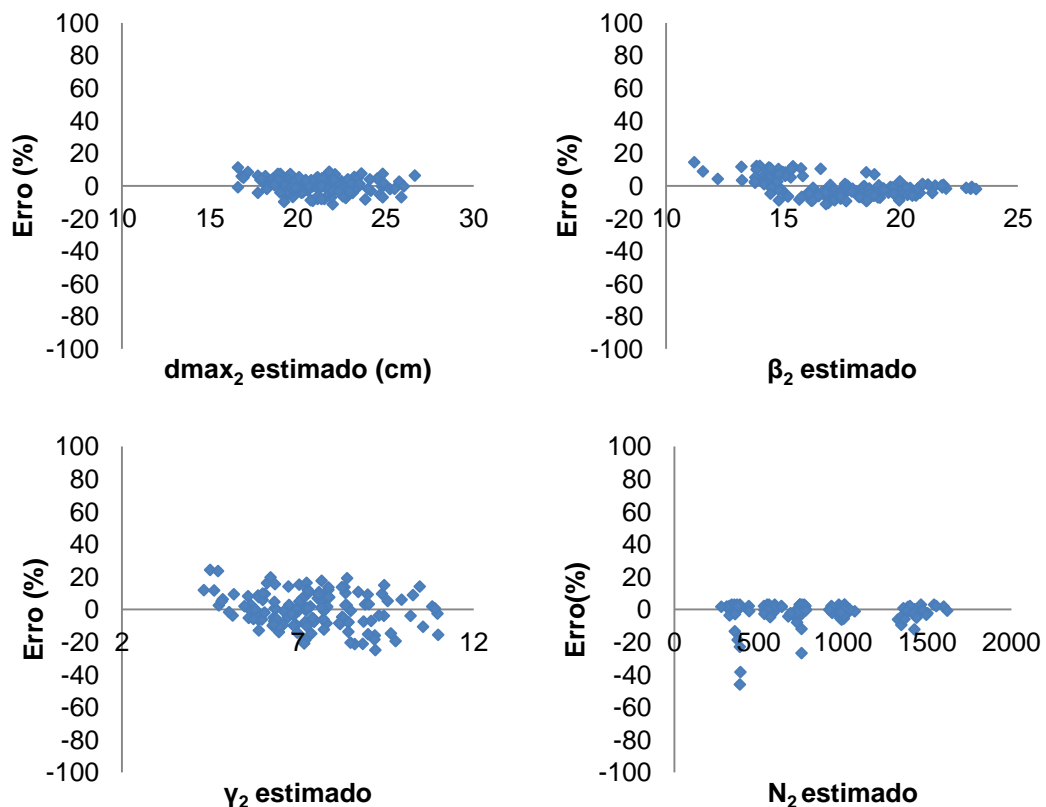


Figura 4. Distribuição de resíduos relacionando as variáveis independentes e dependentes das equações de projeções $dmax_2$, β_2 , γ_2 e N_2 .

3.2.2. Projeção da estrutura diamétrica nas idades futuras

Com as estimativas das variáveis nos 72 meses, foram estimadas as variáveis aos 84 meses, repetindo o mesmo procedimento até a idade de 108 meses. Com essas estimativas dos parâmetros da função Weibull e o número de árvores, estimou-se a frequência por classe de diâmetro nas idades futuras, obtendo-se assim as novas estruturas do povoamento.

Observa-se na Figura 5 que as curvas de distribuição diamétrica se deslocam para a direita e se achatam horizontalmente ao passar dos anos, ilustrando o aumento do número de árvores nas maiores classes diamétricas, sendo esse mesmo resultado observado por Nogueira et al. (2005) no estudo de um povoamento de *Eucalyptus* sp. Esse comportamento já é esperado, visto que as árvores ao longo do tempo vão crescendo e assumindo diâmetros maiores. Nota-se também que o ingresso das árvores em novas classes de diâmetro diminui com o aumento da idade até um momento que passa a ser não significativo, comportamento este já esperado e justificado pela competição entre as árvores.

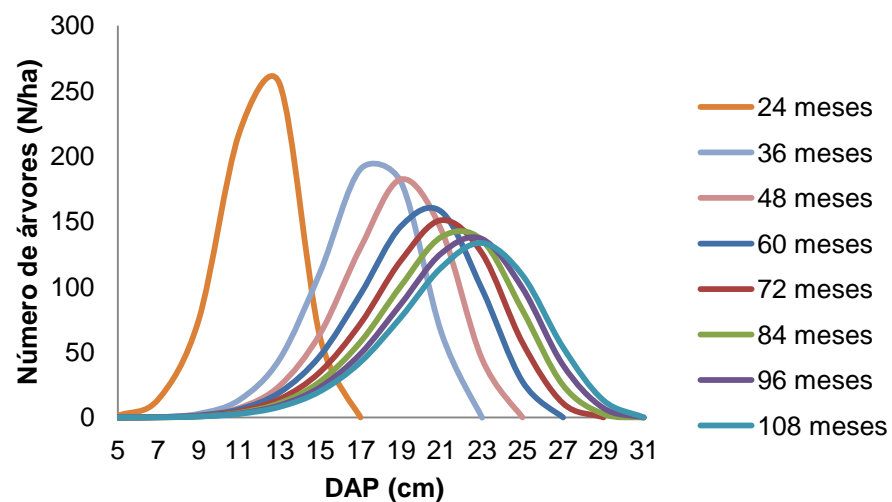
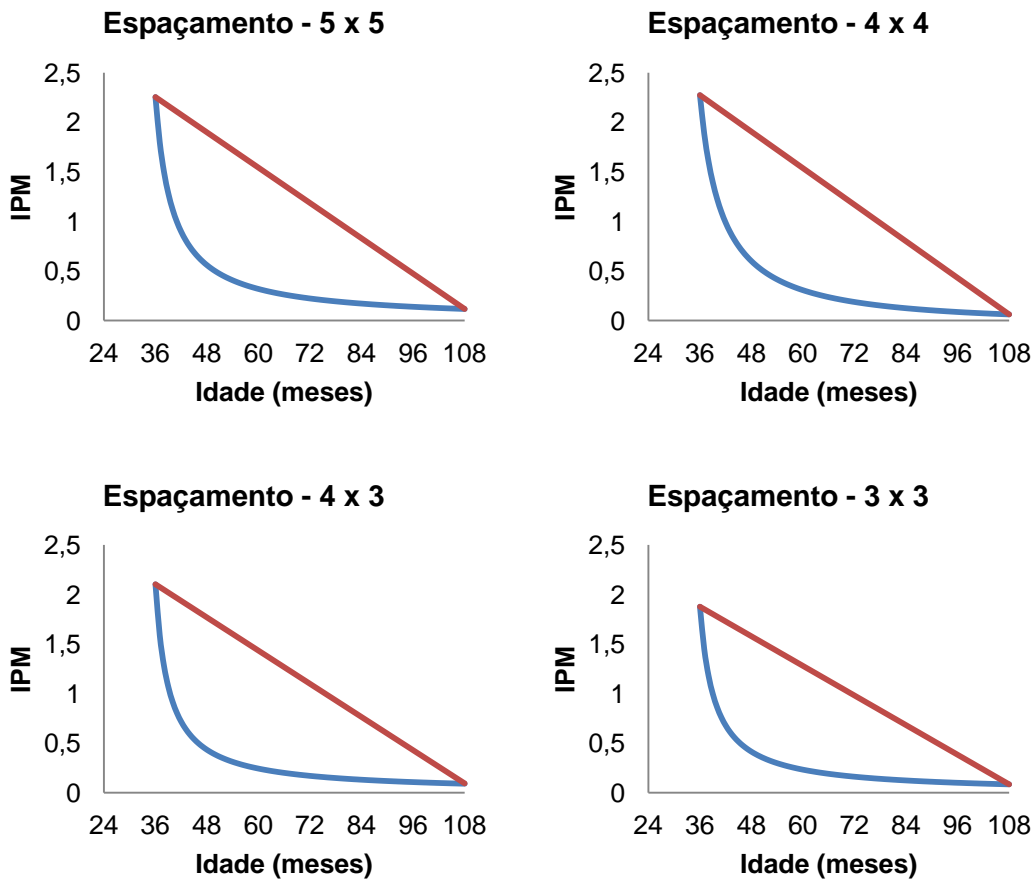


Figura 5. Distribuições diamétricas observadas e estimadas na parcela 2 do espaçamento 4 x 4.

3.2.3 – Estimativa dos ingressos percentuais e da idade técnica de desbaste

Conforme a Figura 6, o decréscimo do ingresso percentual médio é comum a todos os espaçamentos testados. Ainda, fica evidenciado que os maiores ingressos ocorrem entre as idades de 24 e 36 meses, confirmando o crescimento acelerado da espécie paricá nos primeiros anos. De acordo com o trabalho realizado por Tonini et al. (2006), que avaliaram espécies florestais em área de mata no estado de Roraima, a espécie *Schizolobium amazonicum* foi a que apresentou maior crescimento em diâmetro em relação as demais espécies.



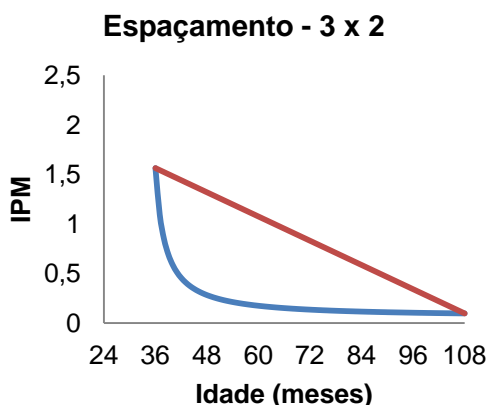


Figura 6. Ingresso percentual médio em diferentes espaçamentos.

Analisando isoladamente o comportamento das curvas de ingresso para cada espaçamento, nota-se que aos 36 meses o ingresso percentual médio em novas classes de diâmetro foi maior para os espaçamentos maiores, ficando em torno de 2,0 a 2,5 percentual. Já para os espaçamentos menores (3 x 3 e 3 x 2 metros), o ingresso médio variou entre 1,5 a 2,0%. Esse comportamento condiz com a realidade biológica dos povoamentos, pois em espaçamentos menores, ocorre maior competição entre as árvores devido ao menor espaço entre elas, e com isso normalmente um menor número de árvores tendem a migrar para classes de maior diâmetro ao longo do tempo. Como o povoamento ainda não foi desbastado, em um determinado momento, o crescimento das árvores começa a ficar limitado acarretando na estagnação do crescimento em diâmetro. Esse momento é percebido na Figura 6, entre as idades de 48 e 60 meses, em que os ingressos em novas classes de diâmetro passam a ser não significativos, indicando que o povoamento deve ser desbastado para favorecer o crescimento potencial das árvores remanescentes.

Na Tabela 2, estão indicadas as idades técnicas de desbaste calculadas para cada espaçamento por meio do método da máxima curvatura. Essas idades variam entre 46,6 a 49,8 meses para os espaçamentos considerados. Nesse intervalo, o ingresso percentual médio passa a ser não significativo, ou seja, começa a haver estagnação do crescimento em diâmetro.

Tabela 2. Equações ajustadas e idades técnicas de desbaste em diferentes espaçamentos de plantio de paricá

Espaçamentos	Equações	\bar{R}^2	$S_{y,x}$ (%)	ITD
3 x 2	$\widehat{IPM} = \frac{0,0800}{1 - 2,2032 * EXP(-0,0234 * I)}$	99,0	13,6	46,6
3 x 3	$\widehat{IPM} = \frac{-0,0026}{1 - 0,9864 * EXP(0,00042 * I)}$	99,4	11,0	48,6
4 x 3	$\widehat{IPM} = \frac{0,0113}{1 - 1,0593 * EXP(-0,00175 * I)}$	99,5	10,4	48,1
4 x 4	$\widehat{IPM} = \frac{-0,2696}{1 - 0,514 * EXP(0,0216 * I)}$	98,7	15,6	49,8
5 x 5	$\widehat{IPM} = \frac{-0,0039}{1 - 0,986 * EXP(0,00044 * I)}$	99,5	9,4	49,4

Os plantios mais densos apresentaram idades técnicas de desbaste menores do que para plantios com espaçamentos mais amplos. Isso já era esperado, uma vez que em plantios com espaçamento inicial mais reduzido, a competição atua mais cedo no crescimento em diâmetro.

No momento que ocorre a estagnação no crescimento em diâmetro, é fundamental a realização do desbaste de algumas árvores com o intuito de favorecer o crescimento dos indivíduos que apresentam maior potencial de crescimento. Assim, essa prática silvicultural se torna fundamental quando o objetivo do projeto é obter madeira para serraria, no qual visam alcançar no corte final árvores de grande porte e com melhor qualidade da madeira para o uso em laminação. Hoffmann (2009), avaliando o rendimento em laminação do paricá, observou que o maior rendimento foi encontrado aos 7 anos de idade, sendo em média um rendimento de 50,31%. Segundo estudos feitos pelo mesmo autor, esse resultado é semelhante ou até mesmo superior ao encontrado para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*,

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, as principais conclusões referentes ao Capítulo I foram:

- O emprego da função Weibull para estimar as frequências diamétricas é consistente e apresenta estimativas semelhantes entre as frequências observadas e estimadas;
- O sistema de equações de regressão utilizado é preciso e eficiente para projetar as distribuições diamétricas futuras;
- O método dos ingressos percentuais é adequado para determinar a idade técnica de desbaste, por considerar toda a estrutura do povoamento e facilitar na análise da estagnação do crescimento, e;
- A idade técnica de desbaste tende a ser mais tardia em espaçamentos maiores, uma vez que a competição entre as plantas começa mais tarde.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação de efeitos de desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 5, n. 1, p. 1-16, 1981.

GARCIA, S. L. R.; LEITE, H. G. Uso do ingresso percentual para determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa: 1999.

GARCIA, S. L. R. **Ingresso percentual: teoria e aplicações em ciência florestal**. Viçosa: 1999. 20 p. Trabalho não publicado.

GOVE, J. H.; FAIRWEATHER, S. E. Maximum-likelihood estimation of Weibull function parameters using a general interactive optimizer and grouped data. **Forest Ecology and Management**: n. 28, p. 61-69, 1989.

HOFFMANN, R. G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2009.

HUSH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 2. ed. New York: Ronald Press, 1972. 409 p.

KVALSETH, T. O. Cautionary note about R^2 . **The American Statistics**: v. 39, n.1, p. 279-285, 1985.

LELES, P. S. S.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L. de.; COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: n. 59, p. 51-59, 2001.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; CARVALHO, A. F.; SOUZA, A. L. de. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 29, n. 4, p. 579-589. 2005.

PELLI, E. **Desenvolvimento de uma aplicação computacional para ajuste da função Weibull em povoamentos florestais**. Diamantina: UFVJM, 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina.

SOARES, T. S. **Avaliação de modelos de distribuição diamétrica em povoamentos de eucalipto não desbastados**. Viçosa: UFV, 2006, 63 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

TOMÉ, M. **Modelação do crescimento e da produção de povoamentos florestais**. Lisboa: ISA, 1999. 98 p.

Tonini, H.; Arco-Verde, M.; Schwengber, D.R.; Mourão Júnior, M. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. **Revista Cerne**. Lavras: v.12, n.1, p.8-18, 2006.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do Sudeste, Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2003, 289 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

WENDLING, W. T. Ajuste da função de distribuição diamétrica Weibull por planilha eletrônica. **Revista Floresta**. Curitiba: v. 41, n. 2, p. 205-220, 2011.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO EM DIÂMETRO E VOLUME DE PARICÁ SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo avaliar a influência dos espaçamentos (3 x 2, 3 x 3, 4 x 3, 4 x 4, 5 x 5 metros) sobre o crescimento em diâmetro quadrático e volume por área do paricá, verificar a precisão e o desempenho de funções na estimação das variáveis, bem como obter a produção diamétrica e volumétrica para cada idade, nos diferentes espaçamentos. Para a realização do trabalho, foram obtidos dados de 10 parcelas para cada espaçamento, medidas nas idades de 24, 36, 48 e 60 meses. Inicialmente, foi testada a possível existência de interação entre os espaçamentos e as idades, e em seguida testados os efeitos dos espaçamentos no crescimento das variáveis volume e diâmetro quadrático dentro de cada idade por meio da comparação entre médias pelo teste de Tukey. Foi ajustada uma equação de regressão linear simples para analisar o crescimento das variáveis em estudo em função da área útil por planta. Foi testado o desempenho de dois modelos estatísticos, em cada um dos espaçamentos, para descrever as curvas de crescimento em diâmetro quadrático e volume por área ao longo do tempo. A escolha da melhor equação ajustada foi feita pela análise gráfica dos resíduos, do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) do Erro Padrão da Estimativa [$S_{y.x}(\%)$], do viés (V), da média das diferenças (MD) e do desvio padrão das diferenças (DPD). Os principais resultados foram: não ocorreu interação entre os espaçamentos e idades, o aumento da idade acarretou em maiores valores de diâmetro quadrático e volume por hectare. A equação logística foi a mais apropriada para descrever as curvas de crescimento dessas variáveis. O crescimento em diâmetro e volume foram influenciados pelo espaçamento, e a maior diferença encontrada entre as médias do diâmetro quadrático e o volume foi entre os espaçamentos extremos, 3 x 2 e 5 x 5 metros.

Palavras- chave: espaçamento, funções de crescimento, diâmetro, volume.

ABSTRACT

This chapter aimed to evaluate the influence of the spacing (3 x 2, 3 x 3, 4 x 3, 4 x 4, 5 x 5 meters) on the paricá growth in quadratic diameter and volume per area, to verify the accuracy and performance of functions in variables estimation, as well as to obtain the volumetric and diametrical production for each age, in different spacings. To conduct the study, data were obtained from 10 plots for each spacing, measured at the ages of 24, 36, 48 and 60 months. Initially, it was tested the possible existence of interaction between spacing and ages, and then it was tested the effects of spacing on the growth of volume and quadratic diameter variables within each age by comparison of means by the Tukey test. A simple linear regression equation was fitted to examine the growth of the studied variables according to the floor area per plant. The performance of two statistical models was tested, in each spacing, to describe the growth curves in quadratic diameter and volume per area over time. The selection of the best adjusted equation was made by graphical analysis of waste, the adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), the Estimated Standard Error [$S_{y,x}(\%)$], the bias (V), the average of differences (MD) and standard deviation of the differences (DPD). The main results were: no interaction between spacing and ages, the increase of age resulted in higher values of quadratic diameter and volume per hectare. The logistic equation is more appropriate to describe the growth curves of these variables. The growth in diameter and volume were influenced by spacing, and the major difference between quadratic diameter and volume was found in extreme spacings, 3 x 2 and 5 x 5 meters.

Keywords: spacing, growth functions, diameter, volume.

1. INTRODUÇÃO

Os experimentos feitos com medidas repetidas em diferentes idades são utilizados para analisar o comportamento de um indivíduo ou variável ao longo do tempo. De acordo com Silva (2009), os estudos com medidas repetidas no tempo envolvem observações de uma ou mais variáveis numa mesma unidade experimental em diferentes tempos. É possível, através desses estudos, analisar o comportamento das variáveis e suas alterações ao longo do tempo.

As variáveis diâmetro e volume são muito importantes nos estudos relacionados ao manejo de florestas, pois conhecendo o comportamento dessas variáveis facilita o planejamento e a tomada de decisão dos empreendimentos florestais.

O crescimento em diâmetro está relacionado com o processo de divisão e diferenciação das células formadoras do câmbio, resultando na formação dos anéis de crescimento (FINGER, 1992). Esse crescimento, também denominado crescimento secundário da árvore, é afetado pelo espaço disponível para o desenvolvimento de cada árvore.

O diâmetro é uma das variáveis mais acessíveis durante a mensuração das árvores e deve ser medida com precisão, pois segundo Soares et al. (2007), o diâmetro fornece a base para a obtenção do volume e área basal das árvores. Para Davis e Johnson (1987), quanto mais adensados forem os povoamentos, menor será o crescimento em diâmetro devido à maior competição entre as árvores por água, luz e nutrientes.

O volume indica a produção potencial de matéria sólida das árvores de um povoamento (Prodan et al., 1997, citados por Lima, 2010). O volume é obtido por meio de funções que tem como variáveis independentes a altura e o diâmetro das árvores. Diferentemente do crescimento em diâmetro, um povoamento mais adensado poderá ter uma produção volumétrica maior, devido ao maior número de árvores. Segundo Scolforo (1994), em povoamentos florestais com espaçamentos mais amplos, consegue-se obter árvores de diâmetro maior, porém com produção líquida menor.

Complementando este argumento, Leite et al. (1997) dizem que em plantios com espaçamento reduzido, obtêm-se toras de pequeno diâmetro e muitas árvores dominadas, comprometendo assim o volume final produzido.

A caracterização e quantificação do crescimento em diâmetro e volume das árvores ao longo do tempo podem ser obtidas por meio de equações de regressão que relacionam essas variáveis com a idade do povoamento. Neste capítulo, foi avaliado a influência do espaçamento sobre o crescimento em diâmetro e volume do paricá, o desempenho de dois modelos estatísticos na estimação dessas variáveis, bem como a obtenção da produção em diâmetro e volume para cada idade, segundo diferentes espaçamentos.

2. METODOLOGIA

2.1. OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS EM ESTUDO

Após a cubagem de algumas árvores, o volume de cada árvore foi o calculado por meio da seguinte equação ajustada de Spurr. A equação fornecida pela empresa Laminit foi:

$$\hat{V} = 0,0164 + 0,3512 \cdot (DAP^2 H) \quad (1)$$

O diâmetro quadrático de cada parcela foi obtido a partir da expressão:

$$dq = \sqrt{\sum \frac{DAP^2}{n}} \quad (2)$$

em que:

DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm);

H = Altura total (m);

n = número de observações em cada parcela.

2.2. ANÁLISE DE PERFIL

Na análise multivariada de perfil, foram formuladas as seguintes hipóteses de nulidade:

a) Hipótese de paralelismo: não há interação entre os espaçamentos e as idades;

b) Hipótese de coincidência: dado que os perfis são paralelos, não há efeito do espaçamento, e;

c) Hipótese de horizontalidade: dado que os perfis são coincidentes, não há efeito do tempo.

As três hipóteses foram testadas pelo teste estatístico de Wilks adotando-se um nível de significância de até 5% de probabilidade.

No caso de haver interação entre os espaçamentos e o tempo, indicando que os espaçamentos têm comportamento diferenciado ao longo das idades (24, 36, 48 e 60), os testes para perfis coincidentes e perfis horizontais não se aplicam. Neste caso, foi testado o efeito de espaçamentos separadamente dentro de cada idade.

2.3. EFEITO DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO PARA CADA IDADE

Foi testado o efeito dos espaçamentos no crescimento das variáveis volume e diâmetro quadrático dentro de cada idade (24, 36, 48 e 60 meses).

Para testar a hipótese de igualdade das médias de tratamentos (espaçamentos), foi feito inicialmente uma análise de variância (ANOVA) para os dados obtidos em cada idade separadamente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 5 tratamentos (espaçamentos: 4 x 4, 4 x 3, 3 x 3, 3 x 2, 5 x 5) e 10 repetições (blocos). Os blocos abrangem capacidades produtivas extremas e intermediárias, sendo que as condições dentro de cada bloco são homogêneas.

O modelo estatístico do delineamento em blocos casualizados é dado por:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

em que:

Y_{ij} = é o valor da parcela que recebeu o tratamento i no bloco j ;

μ = é a média geral do experimento;

t_i = é o efeito do tratamento i ;

b_j = é o efeito do bloco j

ε_{ij} = é o erro experimental suposto normal e independentemente distribuído com média 0 e variância σ^2 .

As hipóteses testadas foram:

$$H_0: t_1 = t_2 = \dots = t_t = 0$$

$H_1: t_i \neq t_j$, para pelo menos um $i \neq j$.

A ANOVA foi feita pelo programa SISVAR (Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados), desenvolvido por Ferreira (2000). Para a comparação de médias das variáveis volume e diâmetro quadrático, obtidos nos diferentes espaçamentos e dentro de cada idade, foi utilizado o teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

2.4. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS VOLUME E DIÂMETRO EM FUNÇÃO DA ÁREA ÚTIL DOS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS

Para avaliação do crescimento das variáveis volume e diâmetro, foi feito um estudo via análise de regressão, tendo como variável independente a área útil por planta, isto é, os espaçamentos estudados. O modelo adotado no estudo foi o de regressão linear simples dado por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

em que:

Y_i = valor da variável estudada i ($i = 1$ (diâmetro quadrático) e $i=2$ (volume));

β_0 e β_1 = parâmetros a serem estimados para cada uma das variáveis estudadas;

X_i = área útil por planta;

ε_i = é o erro experimental.

Para a avaliação do modelo, foi calculado o coeficiente de determinação (R^2) expresso em relação à fonte tratamentos e o Erro Padrão da Estimativa ($S_{y,x}(\%)$). Foi aplicado também o teste de significância para o coeficiente de regressão β_1 .

2.5. CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO EM FUNÇÃO DA IDADE

Para modelar o crescimento do diâmetro e volume das árvores em função da idade, foram testados um modelo de regressão linear e uma de regressão não linear, e assim representar as curvas de crescimento das variáveis por tratamento (espaçamento). Foram testados os modelos estatísticos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos testados para descrever o crescimento em volume ou diâmetro quadrático em função da idade para paricá

Modelos	Modelo estatístico	Autor
1	$Y = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \text{EXP}(-\beta_2 * I)} + \varepsilon$	logístico
2	$Y = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{I}\right) + \varepsilon$	Schumacher

em que: Y: volume (m^3ha^{-1}) ou diâmetro quadrático (cm); I: idade em meses; β_0 , β_1 , β_2 = parâmetros a serem estimados.

As melhores equações foram selecionadas analisando-se as estatísticas como coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2), Erro Padrão da Estimativa ($S_{y.x}(\%)$), e análise gráfica de resíduos. O coeficiente de determinação ajustado foi obtido de acordo com o item 2.2.5 referente ao capítulo I.

Foram calculadas também as estatísticas: viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD), de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados

Viés (V)	Média das diferenças absolutas (MD)	Desvio-padrão das diferenças (DPD)
$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$	$DPD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)^2}{n}}{n-1}}$

em que: Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor estimado; n = número de observações; e $d_i = |Y_i - \hat{Y}_i|$

A partir da análise das estatísticas V , MD e DPD , procedeu-se a ordenação das equações de acordo o maior ou menor grau de precisão, sendo atribuídos pesos de 1 a 2, de acordo com os resultados das estatísticas obtidas para cada equação. Para o modelo mais preciso, foi atribuído o menor valor para cada estatística. O modelo mais acurado foi aquele que resultou em menor somatório dos pesos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. COMPORTAMENTO DO CRESCIMENTO EM VOLUME E DIÂMETRO QUADRÁTICO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

A primeira hipótese testada foi a de paralelismo. A hipótese de nulidade foi rejeitada pelo teste de Wilks (valor-p = 0,0001), para as variáveis diâmetro quadrático e volume, indicando que os espaçamentos têm comportamento diferenciado ao longo do tempo. Assim, não foi necessário testar as hipóteses de coincidência e horizontalidade. O efeito dos espaçamentos nas variáveis estudadas foi estudado separadamente para cada idade no item 3.2.

3.2. EFEITO DO ESPAÇAMENTO NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO QUADRÁTICO E VOLUME EM CADA IDADE

3.2.1. Análise de variância

Após realizar a análise de variância para cada variável nas idades de 24, 36, 48 e 60 meses, observou-se que de acordo com a Tabela 3, pelo teste F, é possível concluir que houve efeito significativo do espaçamento sobre as variáveis diâmetro quadrático e volume em todas as idades. Logo, existe influência do espaçamento no crescimento das árvores.

Tabela 3. Resultados do Teste F e do Erro Padrão da Estimativa para os dados de diâmetro quadrático e volume em cada idade

Idade (meses)	Variáveis estudadas			
	Diâmetro quadrático (cm)		Volume (m ³ ha ⁻¹)	
	F _{calculado}	S _{y.x} (%)	F _{calculado}	S _{y.x} (%)
24	4,33**	5,22	98,21**	15,74
36	49,46**	4,77	50,62**	14,18
48	140,88**	3,27	76,38**	9,37
60	81,13**	4,95	25,51**	11,61

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; F_{1%}(4; 36) = 3,89

3.2.2. Teste de média para os dados de diâmetro quadrático

As comparações entre as médias de diâmetro quadrático obtidas para cada espaçamento nas diferentes idades estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Médias obtidas para diâmetro quadrático (cm) de paricá aos 24, 36, 48 e 60 meses, em diferentes espaçamentos

Espaçamento	Médias			
	24 meses	36 meses	48 meses	60 meses
5 x 5 (25 m ²)	11,0 a	17,3 a	19,4 a	20,8 a
4 x 4 (16 m ²)	10,6 ab	15,9 b	17,5 b	18,4 b

Tabela 4, continuação:

4 x 3 (12 m ²)	10,6 ab	15,1 bc	16,2 c	17,0 c
3 x 3 (9 m ²)	10,2 b	14,2 c	15,4 d	15,6 d
3 x 2 (6 m ²)	10,1 b	13,1 d	14,1 e	14,6 d

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nota-se que, para espaçamentos mais amplos, as árvores apresentaram diâmetros quadráticos maiores, ocorrendo o inverso para espaçamentos menores. De acordo com a Tabela 4, aos 24 meses de idade, o crescimento em diâmetro no menor espaçamento não diferiu estatisticamente dos espaçamentos maiores, com exceção do espaçamento 5 x 5 metros. Esse resultado demonstra que nessa idade a competição entre as plantas não influenciava de forma significativa. Uma diferença maior entre o crescimento em diâmetro nos plantios com espaçamento mais amplo e nos plantados em menor espaçamento pode ser observada a partir dos 36 meses de idade.

Depois de comparada as médias dos tratamentos, verifica-se que a partir dos 36 meses, momento em que a influência do espaçamento já é significativa, no tratamento de maior espaçamento (5 x 5 metros) foi encontrado maior valor de diâmetro quadrático, e no tratamento com plantio mais adensado (3 x 2 metros) o resultado foi oposto, mostrando que esses tratamentos assumiram estatisticamente valores extremos de diâmetro até os últimos meses analisados. Resultados semelhantes foram encontrados por Rondon (2002), analisando o crescimento do paricá em diferentes espaçamentos na região de Mata. Neste estudo, o autor encontrou maiores valores de diâmetro em espaçamentos mais amplos e o inverso em espaçamentos menores. Oliveira (2008), ao estudar o desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f em diferentes espaçamentos no município de Cáceres-MT, observou que o diâmetro médio das árvores foi influenciado pelo espaçamento, sendo que o diâmetro médio aumentou com o aumento da área útil por planta. Em um estudo de crescimento de *Eucalyptus grandis* feito por Leite et al. (1997), observou-se que os incrementos periódicos em diâmetro foram crescentes com o aumento do espaçamento.

Os resultados destes trabalhos e os apresentados na Tabela 4 corroboram com diversas literaturas, em que as árvores plantadas em espaçamentos amplos crescem mais rapidamente do que aquelas plantadas em espaçamentos estreitos. Além disso, vale ressaltar que esses resultados encontrados mostram que uma das principais características dessa espécie é o rápido crescimento, evidenciando seu grande potencial para utilização no mercado.

É importante ressaltar que, para a produção de madeira para laminação, o ideal é manejar o povoamento de modo a obter árvores com diâmetros maiores. No trabalho de Hoffmann (2009), o diâmetro foi o agente direto que provocou o aumento de rendimento, que segundo o autor, quanto maior o diâmetro, mais diluída fica a perda do volume do rolo resto no processo de laminação da madeira. Portanto, realizar cortes parciais (desbastes) no momento certo e assim estimular o máximo crescimento que os indivíduos podem alcançar, associado com um espaçamento que propicie maiores diâmetros, é possível obter madeira de melhor qualidade e com menor perda de matéria prima.

Confrontando os valores de diâmetro quadrático encontrados na Tabela 4 com as idades técnicas de desbaste obtidas na Tabela 2 do Capítulo I, é possível conferir a coerência dos resultados encontrados. A maior diferença de crescimento em diâmetro ocorreu entre as idades de 24 e 36 meses para todos os espaçamentos. Para os espaçamentos mais amplos (4 x 4 e 5 x 5 metros), a menor diferença em crescimento em diâmetro é encontrada entre as idade de 48 e 60 meses, já para os demais espaçamentos, observa-se que essa diferença diminui a partir dos 36 meses. Esta diminuição no crescimento do diâmetro das árvores significa que, de forma geral, o crescimento começa a estagnar e provavelmente as árvores não estão mais migrando de classes diamétricas. Assim, quando esse fenômeno ocorre, é sinal que está no momento adequado para se realizar o desbaste, conforme discutido no capítulo I.

3.2.3. Teste de média para os dados de volume

Comparando as médias de volume para cada espaçamento nas diferentes idades, foram encontrados os resultados indicados na Tabela 5. De maneira geral, observa-se que, ao longo dos anos, a maior produção volumétrica por hectare foi obtida em espaçamentos mais adensados. Um dos preceitos teóricos silviculturais que pode explicar os resultados obtidos na Tabela 5 refere-se ao número de árvores plantadas em cada povoamento proveniente do espaçamento escolhido. Quanto mais amplo for o espaçamento, menor será o número de indivíduos e conseqüentemente menor será o volume final por área, mesmo sendo possível obter maiores volumes individuais das árvores.

Tabela 5. Médias obtidas para volume (m^3ha^{-1}) de paricá aos 24, 36, 48 e 60 meses, em diferentes espaçamentos

Espaçamento	Médias			
	24 meses	36 meses	48 meses	60 meses
3 x 2 ($6 m^2$)	84,6 a	176,1 a	204,8 a	191,0 a
3 x 3 ($9 m^2$)	52,8 b	142,1 b	171,6 b	173,4 a
4 x 3 ($12 m^2$)	44,5 b	115,5 c	142,6 c	147,2 b
4 x 4 ($16 m^2$)	34,3 c	101,0 c	128,2 c	140,5 bc
5 x 5 ($25 m^2$)	22,4 d	74,70 d	104,6 d	118,1 c

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em um estudo feito por Oliveira (2008) em povoamentos de *Tectona grandis*, verificou-se que em espaçamento mais adensado (3 x 2 metros) foi obtido quase 50% a mais de volume por área que no espaçamento mais amplo (5 x 2 metros). A proporção em volume encontrada por esse autor nos diferentes espaçamentos é semelhante à encontrada neste trabalho. Berger (2000), estudando o crescimento de *Eucalyptus saligna*, notou que houve um acréscimo do volume por hectare com a diminuição do espaçamento, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Para Fishwich

(1976) citado por Lima (2010), o volume total de madeira de um povoamento diminui conforme o aumento do espaçamento inicial.

Em um diagnóstico de projetos de reposição florestal no estado do Pará, Galeão et al. (2006) analisaram o volume total de plantios de paricá plantados em espaçamento de 4 X 4 metros no município de Dom Elizeu, e encontraram volume total variando de 85 m³ aos 3 anos de idade e 138 m³ aos 5 anos de idade. Esses resultados estão próximos dos valores encontrados na Tabela 5.

3.3. AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS EM FUNÇÃO DA ÁREA ÚTIL DOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS

Na Tabela 6, encontram-se os resultados do ajuste das equações de regressão linear simples utilizadas para descrever o comportamento do crescimento em diâmetro quadrático e volume em função da área útil. Nota-se que para ambas variáveis o modelo utilizado apresentou bom desempenho para estimar o crescimento, evidenciado pelos altos valores de R^2 e baixos valores de $S_{y.x}(\%)$. Observa-se também que o coeficiente de regressão foi significativo. Assim, pode-se evidenciar que as estimativas das variáveis diâmetro e volume em função da área útil ocupada por árvore no plantio por meio do modelo utilizado no presente estudo são precisas e confiáveis.

Tabela 6. Ajuste do modelo de regressão linear simples para descrever o crescimento em diâmetro e volume em função da área útil em povoamentos de paricá aos 60 meses de idade

Variável	Coeficientes		Estatísticas	
	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	R^2	$S_{y.x}(\%)$
Diâmetro quadrático	12,956	0,322*	98,74	1,38
Volume	204,396	-3,70*	90,77	5,04

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F .

A Figura 1 corrobora com os resultados encontrados na Tabela 4 do item 3.2.2, em que os maiores valores de diâmetro quadrático foram obtidos com o aumento da área útil por planta, mostrando que a taxa de crescimento em diâmetro é proporcional ao espaço vital que a árvore ocupa. A equação de regressão é representada por uma reta crescente, indicando a proporção direta entre a variável diâmetro quadrático e a área útil. Ao derivar o modelo linear simples, o resultado encontrado será o β_1 . Logo, é possível obter a proporção do crescimento em relação à área útil, sendo que, para cada metro quadrado de área que for aumentado no espaçamento, estima-se um aumento médio de 0,322 cm no diâmetro quadrático.

Nota-se que o espaço vital com 25 m² apresentou maior valor de diâmetro quadrático e nos plantios com menores espaços vitais (6m² e 9m²) foram encontrados os menores valores. Novamente os resultados confirmam a teoria de que o espaçamento exerce grande influência no crescimento em diâmetro.

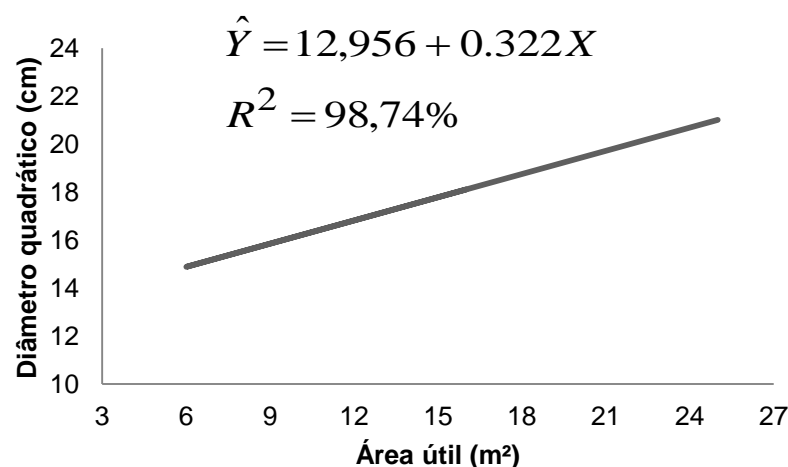


Figura 1. Equação de regressão ajustada para o diâmetro quadrático (Y) em função da área útil (X), aos 60 meses.

A Figura 2 demonstra que a equação de regressão que relaciona o volume em função da área útil por planta apresenta uma tendência inversa àquela obtida na análise da variável diâmetro quadrático. O coeficiente de regressão foi negativo (-3,70) indica que a equação de regressão estudada é representada por uma reta decrescente, ou seja, espaçamentos mais amplos

tendem a apresentar menores volumes por área. Nota-se que ocorre um decréscimo na produção volumétrica com o aumento da área útil em plantios de paricá, confirmando os resultados da Tabela 5 do item 3.2.3. De acordo com a Tabela 6, para cada metro quadrado de área que for aumentado no espaçamento, estima-se um decréscimo médio de $3,70 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ no volume.

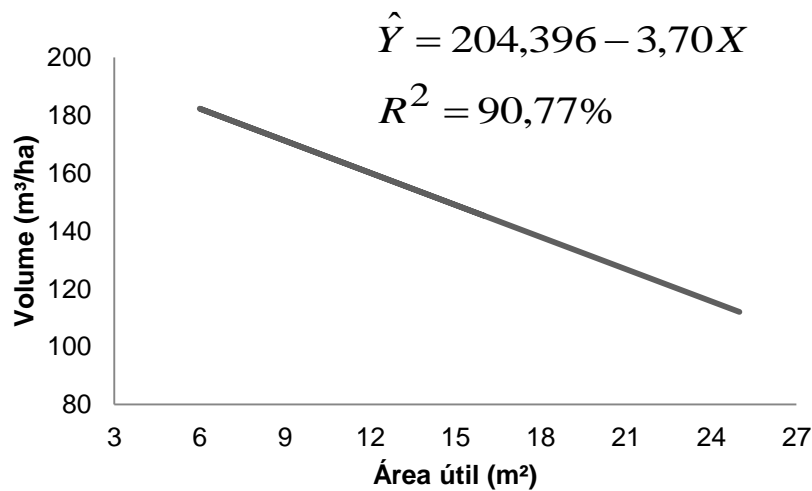


Figura 2. Equação de regressão ajustada para o volume (Y) em função da área útil (X), aos 60 meses.

3.4. COMPORTAMENTO DAS VARIÁVEIS NO TEMPO

3.4.1. Modelos de crescimento para diâmetro quadrático em função da idade

A escolha do modelo utilizado para descrever o crescimento em diâmetro das árvores em função da idade nos diferentes espaçamentos foi baseada nas estatísticas das equações ajustadas, de acordo com as Tabelas 7 e 8 e as Figuras 3, 4, 5, 6 e 7. De maneira geral, as equações ajustadas para os dois modelos testados apresentaram desempenho semelhante em estimar o diâmetro quadrático nas diferentes idades. Porém, de acordo com as estatísticas de precisão, dentre os dois modelos testados, o modelo logístico foi a que apresentou melhor desempenho, sendo ligeiramente mais precisa que o modelo de Schumacher. O modelo logístico apresentou maiores valores de \bar{R}^2 e menores valores de $S_{y,x}(\%)$ para todos os espaçamentos.

Tabela 7. Equações ajustadas para descrever o crescimento em diâmetro quadrático (d_q) das árvores em função da idade (I) para povoamentos de paricá

Modelo	Espaçamento	Equação	\bar{R}^2	$S_{y,x}(\%)$
logístico	3 x 2	$\hat{d}_q = \frac{14,372}{1 + 5,624 \exp(-0,1138 * I)}$	80,9	5,3
Schumacher	3 x 2	$\hat{d}_q = 17,11 - 153,59 \left(\frac{1}{I} \right)$	79,0	5,6
logístico	3 x 3	$\hat{d}_q = \frac{15,799}{1 + 9,889 \exp(-0,123 * I)}$	90,0	4,9
Schumacher	3 x 3	$\hat{d}_q = 19,97 - 229,27 \left(\frac{1}{I} \right)$	86,4	6,2
logístico	4 x 3	$\hat{d}_q = \frac{17,027}{1 + 11,929 \exp(-0,124 * I)}$	93,2	4,5
Schumacher	4 x 3	$\hat{d}_q = 21,73 - 260,15 \left(\frac{1}{I} \right)$	91,5	5,0
logístico	4 x 4	$\hat{d}_q = \frac{18,468}{1 + 11,873 \exp(-0,118 * I)}$	95,2	4,0
Schumacher	4 x 4	$\hat{d}_q = 24,03 - 314,45 \left(\frac{1}{I} \right)$	93,6	5,0
logístico	5 x 5	$\hat{d}_q = \frac{21,104}{1 + 10,544 \exp(-0,107 * I)}$	93,5	5,0
Schumacher	5 x 5	$\hat{d}_q = 27,66 - 394,17 \left(\frac{1}{I} \right)$	89,8	7,3

Confirmando os resultados encontrados para as medidas de precisão, a análise do gráfico de resíduos representadas pelas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 para cada espaçamento estudado, indicou distribuição regular dos resíduos e erros baixos para os dois modelos testados. Porém, no ajuste do modelo de Schumacher ocorreu uma ligeira tendência em superestimar diâmetros maiores que 15 cm, justificando assim a seleção do modelo logístico.

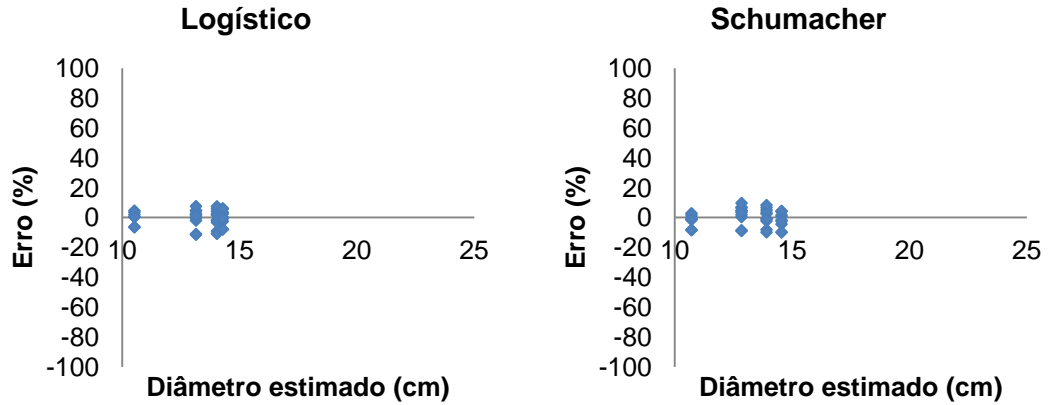


Figura 3. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 3 x 2 metros.

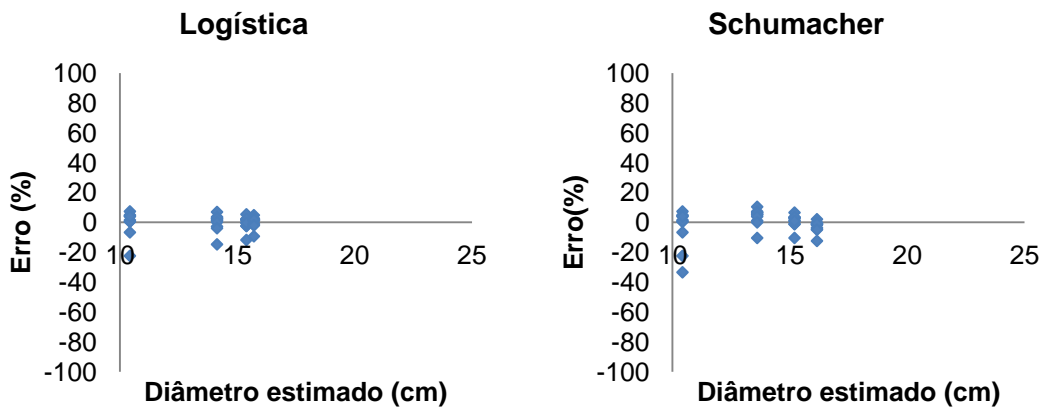


Figura 4. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 3 x 3 metros.

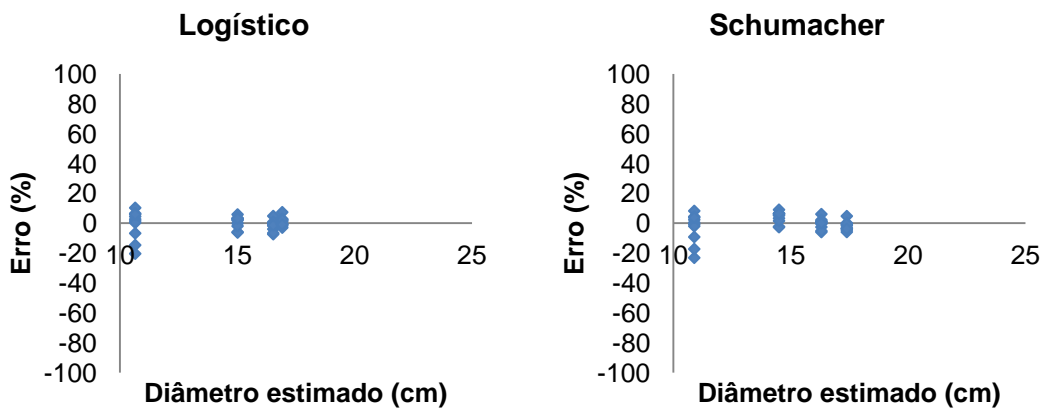


Figura 5. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 4 x 3 metros.

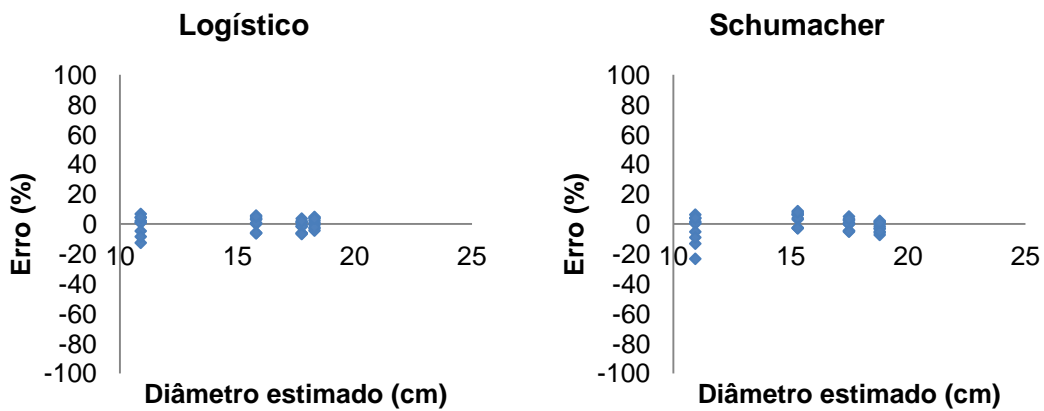


Figura 6. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 4 x 4 metros.

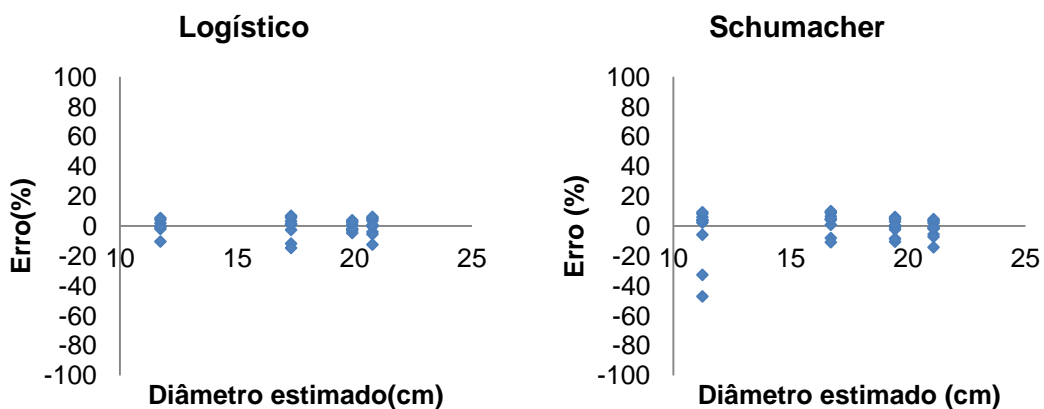


Figura 7. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos diâmetros quadráticos em árvores de paricá em espaçamento 5 x 5 metros.

Ainda, com base na Tabela 8, as estatísticas V , DPD e MD , indicam novamente que o modelo logístico apresentou melhor precisão nos ajustes para as estimativas de diâmetro. Observando-se os resultados das estatísticas, nota-se que o somatório das estimativas foi sempre menor para o modelo logístico, o que significa que as equações ajustadas a partir deste modelo proporcionaram resultados mais exatos.

Tabela 8. Estatísticas viés (*V*), média das diferenças absolutas (*MD*), desvio padrão das diferenças (*DPD*) para as estimativas de diâmetro quadrático a partir dos modelos logístico e Schumacher

Modelo	Espaçamento	Viés	DPD	MD	Total
logístico	3 x 2	$4,8 \times 10^{-4}$ (1)	0,698 (1)	0,555 (2)	4
Schumacher	3 x 2	$8,7 \times 10^{-3}$ (2)	0,706 (2)	0,550 (1)	5
logístico	3 x 3	$-1,8 \times 10^{-3}$ (2)	0,689 (1)	0,497 (1)	4
Schumacher	3 x 3	$2,8 \times 10^{-15}$ (1)	0,874 (2)	0,642 (2)	5
logístico	4 x 3	$-6,5 \times 10^{-4}$ (2)	0,681 (1)	0,522 (1)	4
Schumacher	4 x 3	$-2,8 \times 10^{-15}$ (1)	0,759 (2)	0,588 (2)	5
logístico	4 x 4	$1,8 \times 10^{-3}$ (2)	0,649 (1)	0,545 (1)	4
Schumacher	4 x 4	$9,1 \times 10^{-10}$ (1)	0,793 (2)	0,643 (2)	5
logístico	5 x 5	$-3,6 \times 10^{-3}$ (2)	0,914 (1)	0,689 (1)	4
Schumacher	5 x 5	$-8,5 \times 10^{-15}$ (1)	1,273(2)	0,995 (2)	5

Comparando todos os resultados das estatísticas utilizadas para a escolha do melhor modelo para estimar o diâmetro, verifica-se que a maioria dos resultados foi favorável à utilização do modelo logístico. Calegario et al. (2005), ao estimar o crescimento em altura das árvores individuais, observaram que entre os modelos testados, o logístico foi o que apresentou melhor desempenho para os dados analisados. Os mesmos autores citam que uma das principais características desse modelo é a facilidade na obtenção de parâmetros iniciais devido à interpretação biológica dos seus parâmetros. Sendo assim, esse modelo foi selecionado para representar a curva de crescimento em função da idade para cada espaçamento estudado.

A evolução do diâmetro quadrático em função dos anos avaliados para diferentes espaçamentos é mostrada na Figura 8, onde nota-se uma relação direta do crescimento em diâmetro com o aumento da idade. Este crescimento também pode ser evidenciado pela Figura 5 do Capítulo I, em que ao longo dos anos a distribuição diamétrica do povoamento tende a deslocar à direita, evidenciando o crescimento em diâmetro.

As curvas de crescimento em diâmetro no tempo, representadas pela Figura 8 mostram que para espaçamentos mais amplos foi obtido maior

crescimento em diâmetro. A curva representada pelo espaçamento 5 x 5 metros apresentou maior deslocamento vertical da curva, resultado este já esperado, visto que ocorre uma menor competição entre as árvores, comprovando o efeito da área útil analisada no item 3.3. Ainda, de acordo com a Figura 8, o espaçamento 3 x 2 metros propiciou menor crescimento em diâmetro ao longo do tempo, que provavelmente foi causado pela menor área disponível por planta e pela competição entre os indivíduos. Nota-se também que com o aumento da idade, os espaçamentos mais amplos possuem maior velocidade de crescimento, principalmente o espaçamento 5 x 5 metros, sendo esse efeito da idade evidenciado pela inclinação da curva.

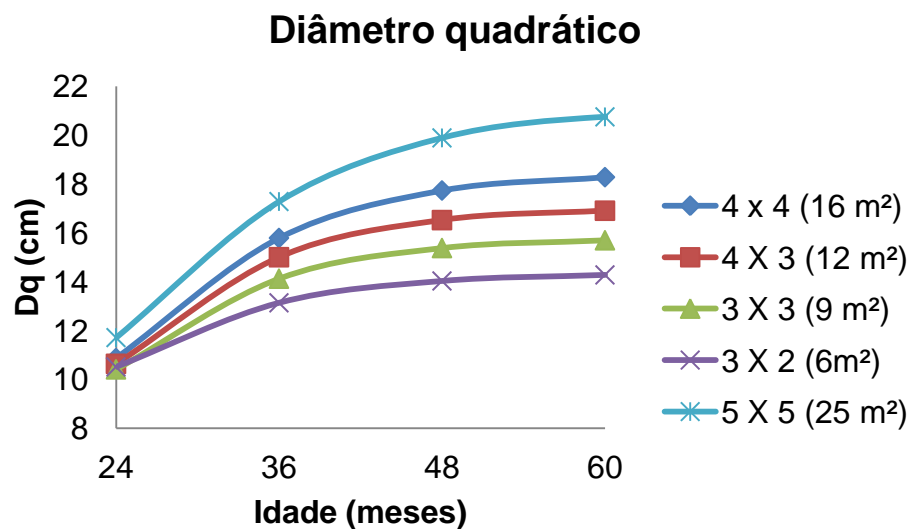


Figura 8. Curvas de crescimento em diâmetro em função da idade para diferentes espaçamentos (4 x 4, 4 x 3, 3 x 3, 3 x 2, 5 x 5 metros).

3.4.2. Modelos de crescimento para volume em função da idade

Seguindo o mesmo critério do item 3.4.1, a escolha da melhor função para descrever o crescimento em volume das árvores em função da idade e para cada espaçamento foi baseada nas estatísticas das equações ajustadas, de acordo com as tabelas 9 e 10 e as Figuras 9, 10, 11, 12 e 13.

Conforme a Tabela 9, as duas funções apresentaram ajustes bem próximos em termo de medidas de precisão, porém as equações ajustadas do modelo de Schumacher apresentaram maiores coeficientes de determinação e

menores coeficientes de variação, favorecendo a escolha do modelo logístico nesta primeira etapa de análise.

Tabela 9. Equações ajustadas para descrever o crescimento em volume (Y) das árvores em função da idade (I) para povoamentos de paricá

Modelo	Espaçamento	Equação	\bar{R}^2	$S_{y,x}(\%)$
logístico	3 x 2	$\hat{Y} = \frac{198,4}{1 + 183,9 \exp(-0,204 * I)}$	74,4	16,7
Schumacher	3 x 2	$\hat{Y} = 295,0 - 4879,7 \left(\frac{1}{I} \right)$	71,8	17,7
logístico	3 x 3	$\hat{Y} = \frac{174,5}{1 + 248,2 \exp(-0,194 * I)}$	79,5	18,5
Schumacher	3 x 3	$\hat{Y} = 270,5 - 5065,9 \left(\frac{1}{I} \right)$	76,1	19,9
logístico	4 x 3	$\hat{Y} = \frac{147,7}{1 + 159,4 \exp(-0,176 * I)}$	84,0	16,0
Schumacher	4 x 3	$\hat{Y} = 226,9 - 4279,8 \left(\frac{1}{I} \right)$	82,0	16,9
logístico	4 x 4	$\hat{Y} = \frac{138,8}{1 + 171,3 \exp(-0,169 * I)}$	86,2	16,3
Schumacher	4 x 4	$\hat{Y} = 216,5 - 4319,4 \left(\frac{1}{I} \right)$	85,9	16,5
logístico	5 x 5	$\hat{Y} = \frac{117,6}{1 + 175,4 \exp(-0,157 * I)}$	77,8	24,6
Schumacher	5 x 5	$\hat{Y} = 183,4 - 3873,9 \left(\frac{1}{I} \right)$	77,9	24,5

Mediante análise gráfica de resíduos, nota-se que ambas as equações ajustadas apresentaram distribuição de resíduos semelhantes, com uma leve tendência em subestimar os volumes menores que 100 m³.ha⁻¹.

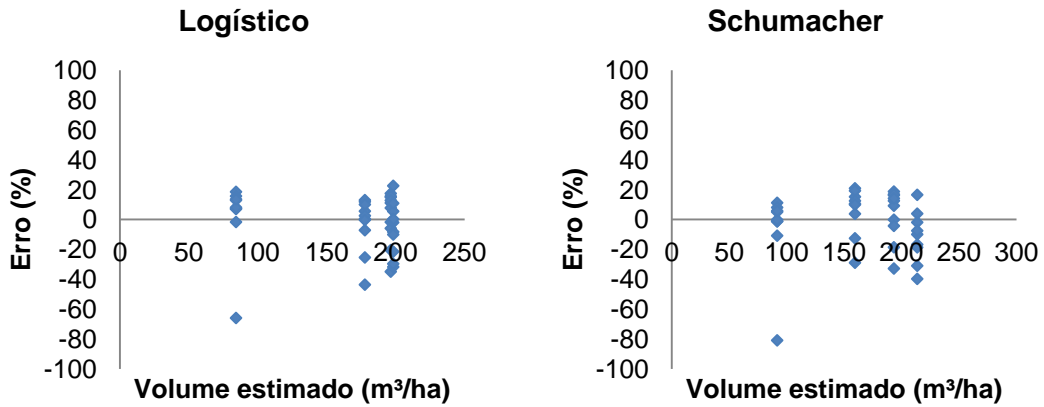


Figura 9. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 3 x 2 metros.

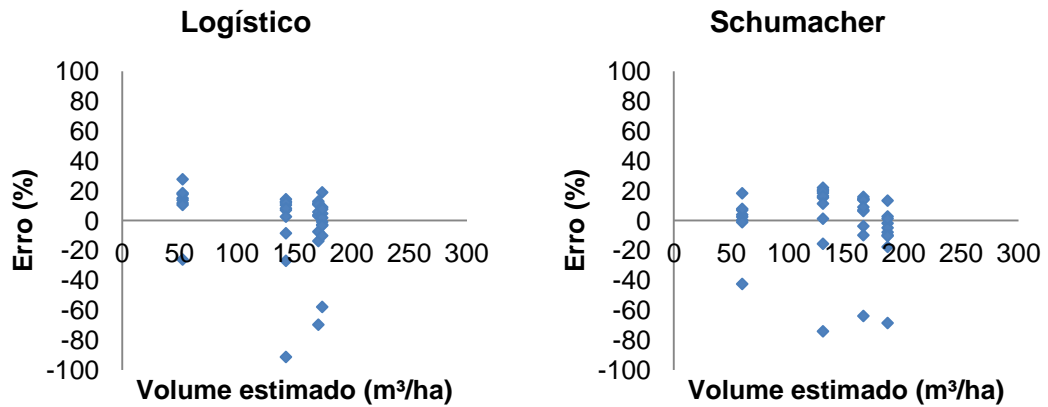


Figura 10. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 3 x 3 metros.

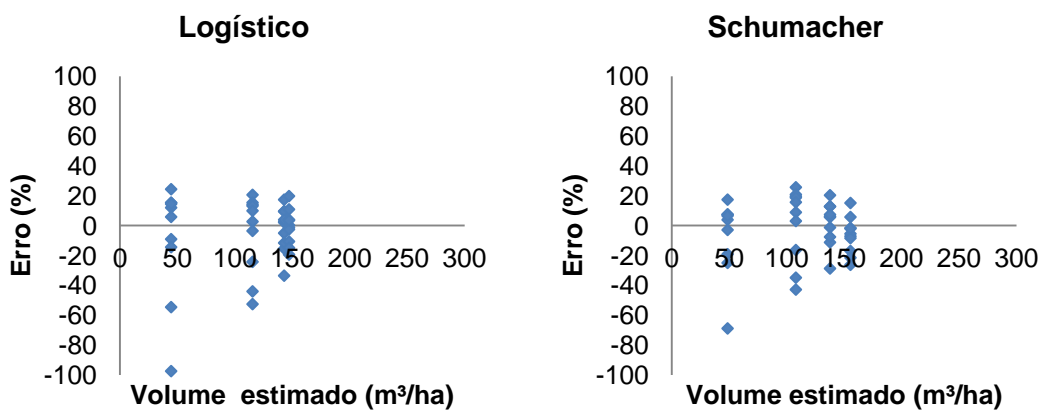


Figura 11. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 4 x 3 metros.

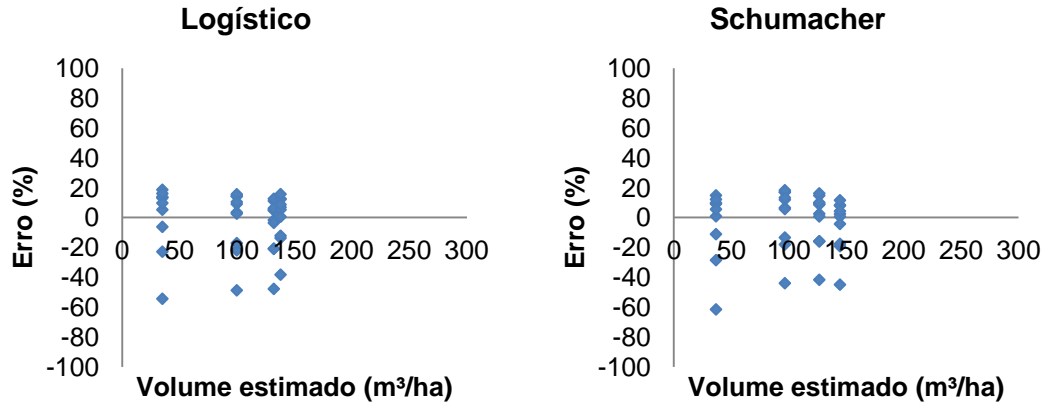


Figura 12. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 4 x 4 metros.

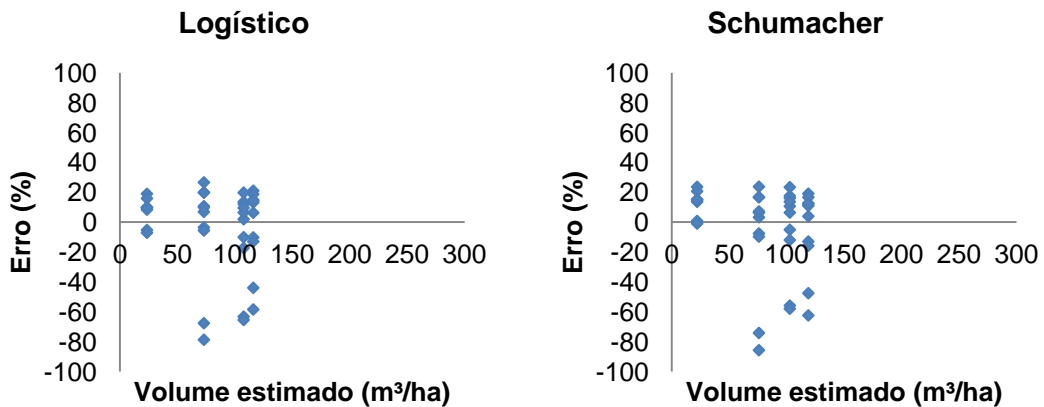


Figura 13. Distribuição de resíduos dos modelos logístico e Schumacher para estimativa dos volumes em árvores de paricá em espaçamento 5 x 5 metros.

Como análise complementar, foram obtidas as estatísticas viés, média das diferenças absolutas e desvio padrão das diferenças na estimação da variável volume, mostradas na Tabela 10. Para a estatística *V*, verifica-se que há ausência de tendências nas estimativas da variável volume utilizando os modelos logístico e Schumacher. Considerando agora, a estatística *MD*, a precisão dos ajustes nas estimativas foi mais satisfatória quando estimou o volume por meio do modelo logístico. A estatística *DPD* confirmou a maior precisão dos resultados com o modelo logístico, com exceção do ajuste referente ao maior espaçamento (5 x 5 metros) em que o modelo de Schumacher foi mais preciso para esta estatística.

Confrontando os resultados de todas as estatísticas realizadas, pode-se estabelecer que os resultados em sua maioria indicaram que o modelo logístico apresentou melhor precisão nas estimativas. Assim, o modelo mais apropriado para ser utilizado na estimação do volume por área em função da idade é o logístico.

Tabela 10. Estatísticas viés (*V*), média das diferenças absolutas (*MD*), desvio padrão das diferenças (*DPD*) para as estimativas de volume a partir dos modelos logístico e Schumacher

Modelo	Espaçamento	Viés	DPD	MD	Total
logístico	3 x 2	$-5,1 \times 10^{-4}$ (2)	27,82 (1)	22,9 (1)	4
Schumacher	3 x 2	$-2,9 \times 10^{-8}$ (1)	29,31(2)	23,4 (2)	5
logístico	3 x 3	$-1,1 \times 10^{-2}$ (2)	25,26 (1)	18,8 (1)	4
Schumacher	3 x 3	$2,3 \times 10^{-14}$ (1)	27,25 (2)	20,7 (2)	5
logístico	4 x 3	$-1,8 \times 10^{-2}$ (2)	18,19 (1)	14,4 (1)	4
Schumacher	4 x 3	$-1,7 \times 10^{-8}$ (1)	19,30 (2)	15,7 (2)	5
logístico	4 x 4	$-9,1 \times 10^{-2}$ (2)	16,67 (1)	13,3 (1)	4
Schumacher	4 x 4	$4,5 \times 10^{-14}$ (1)	16,84 (2)	13,4 (2)	5
logístico	5 x 5	$-1,2 \times 10^{-1}$ (2)	19,89 (2)	15,4 (1)	5
Schumacher	5 x 5	$-2,0 \times 10^{-7}$ (1)	19,81(1)	15,6 (2)	4

A Figura 14 mostra a evolução do crescimento em volume por área em função dos anos avaliados para diferentes espaçamentos, observando-se uma relação direta com a idade. Verifica-se o efeito significativo do espaçamento no crescimento em volume por meio do deslocamento vertical das curvas. Observando esta Figura, fica evidente o distanciamento das curvas de maior (5 x 5 metros) e menor (3 x 2 metros) espaçamento das demais. Esses resultados estão de acordo com os encontrados na Tabela 5, em que o volume encontrado nos espaçamentos extremos foi estatisticamente diferente, assumindo valores também extremos quando comparados com os obtidos com os demais espaçamentos analisados.

Nota-se o aumento da produção volumétrica por área conforme a diminuição do espaçamento, resultados estes confirmados pelo teste de média no item 3.2.3. Aos 60 meses, as médias dos volumes por área estimados pelo modelo logístico variaram de 198,3 m³ha⁻¹ para o espaçamento 3 x 2 metros, e 115,9 m³ha⁻¹ para o espaçamento 5 x 5 metros. De acordo com o estudo feito por Silva (1999) para avaliar o crescimento de *Eucalyptus grandis*, verificou-se que com a redução do espaçamento foi obtido menor volume por árvore, porém devido ao maior número de indivíduos nos menores espaçamentos, aos 6 anos de idade, o volume de madeira por hectare no menor espaçamento foi 68% superior ao de maior espaçamento. No presente trabalho, aos cinco anos de idade, o volume por hectare obtido no povoamento de menor espaçamento foi 58,4% maior que no espaçamento mais amplo.

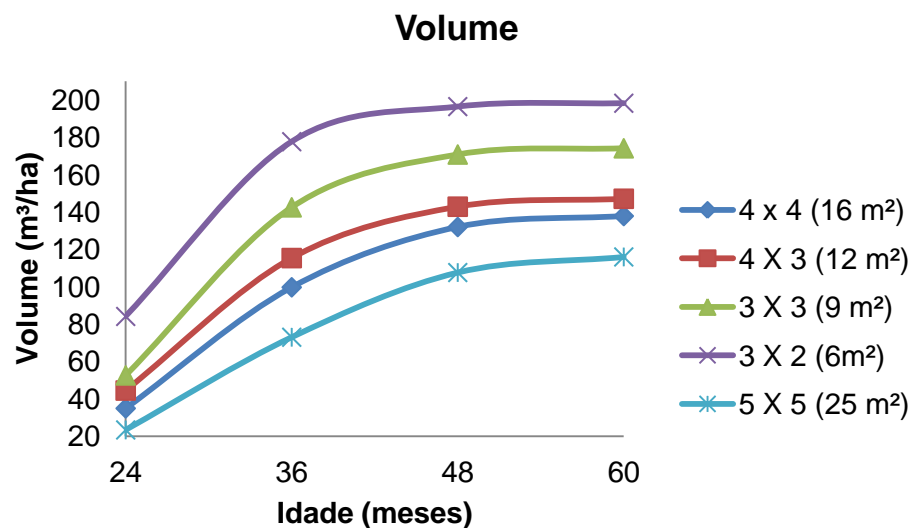


Figura 14. Curvas de crescimento em volume em função da idade para diferentes espaçamentos (4 x 4, 4 x 3, 3 x 3, 3 x 2, 5 x 5 metros).

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, as principais conclusões referentes ao Capítulo II foram:

- Os espaçamentos levam a um comportamento diferenciado do crescimento em diâmetro e volume ao longo do tempo;
- O aumento da idade acarreta em maiores valores de diâmetro quadrático e volume por hectare;
- O modelo logístico é o mais apropriado para estimar os valores de diâmetro quadrático e volume e descrever as curvas de crescimento dessas variáveis;
- O crescimento em diâmetro e volume são influenciados pelo espaçamento;
- A maior diferença entre as médias do diâmetro quadrático e o volume é entre os espaçamentos extremos;
- O maior crescimento em diâmetro quadrático é verificado no espaço vital com 25m^2 , e;
- O maior crescimento em volume por área é verificado no espaço vital com 6m^2 .

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** Santa Maria: UFSM 2000. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

CALEGARIO, N.; CALEGARIO, C. L. L.; MAESTRI, R.; DANIELS, R. Melhoria da qualidade de ajuste de modelos biométricos florestais pelo emprego da teoria dos modelos não lineares generalizados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: n. 69, p. 38-50, 2005.

DAVIS, L. S.; JOHNSON, K. N. **Forest management.** 3. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.

FERREIRA, D. F. **Sistemas de análise estatística para dados balanceados.** Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 2000. 145 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** 1. ed. Santa Maria. UFSM/FATEC/CEPEF, 1992. 269 p.

GALEAO, R. R.; CARVALHO, J. O. P. de.; YARED, J. A. G.; MARQUES, L. C. T.; COSTA FILHO, P. P. Diagnóstico dos projetos de reposição florestal no Estado do Pará. **Revista Ciências Agrárias**, Belém: n. 45, p. 101-120, 2006.

HOFFMANN, R. G. **Caracterização dendrométrica e avaliação do rendimento em laminação de madeira em plantios de paricá (*schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA.** Jerônimo Monteiro: UFES, 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2009.

LEITE, F. P.; BARROS, N. F. de.; NOVAIS, R. F. de.; SANS, I. M. A.; FABRES, A. S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 21, n. 3, p. 13-321, 1997.

LIMA R. **Crescimento de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos.** Irati: UNICENTRO, 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, 2010.

OLIVEIRA, R. P. R. P. E. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f., em diferentes espaçamentos, no município de Cáceres, MT. Seropédica: UFRRJ, 2008. 19 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região da mata. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SILVA, J. M. S. da. **Estudo silvicultural e econômico do consórcio de *Eucalyptus grandis* com gramíneas sob diferentes espaçamentos em áreas acidentadas**. Lavras: UFLA, 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SILVA, S. A. A. **Análise de experimento com medidas repetidas: uma aplicação no efeito da ingestão do café no controle de peso**. Três Corações: UNINCOR, 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática e Estatística Aplicada) – Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, MG, 2009.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de.; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 276 p. 2007.

VIANA, B. L.; MELLO, A. C. L. de.; LIRA, M. de A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos.; CUNHA, M. V. da.; FERREIRA, G. D. G. Repetibilidade e respostas de características morfofisiológicas e produtivas de capim-elefante de porte baixo sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v. 44, n. 12, 2009.