



**DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E PROGNÓSE DO
CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS PARA MULTIPRODUTOS**

MIRELLA BASILEU DE OLIVEIRA LIMA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UNB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E PROGNOSE DO
CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM DIFERENTES
ESPAÇAMENTOS PARA MULTIPRODUTOS**

MIRELLA BASILEU DE OLIVEIRA LIMA

ORIENTADOR: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo

COORIENTADOR: Prof. Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: 309/2018

BRASÍLIA/ DF FEVEREIRO DE 2018

Brasília, 23 de fevereiro de 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA E PROGNÓSE DO
CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS
PARA MULTIPRODUTOS”

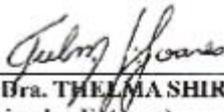
MIRELLA BASILEU DE OLIVEIRA LIMA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:


Prof. Dr. MAURO LLOI NAPPO (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)


Prof. Dr. EDER PEREIRA MIGUEL (Departamento de Engenharia Florestal –
EFL/UnB);
(Examinador Interno)


Prof. Dra. THELMA SHIRLEN SOARES (Universidade Federal de Goiás – UFG);
(Examinador Externo)


Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia Florestal –
EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 23 de fevereiro de 2018.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

BL732d	Basileu de Oliveira Lima, Mirella Dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para multiprodutos / Mirella Basileu de Oliveira Lima; orientador Mauro Eloi Nappo; co-orientador Renato Vinícius Oliveira Castro. -- Brasília, 2018. 114 p. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, 2018. 1. Roda de Nelder. 2. projeção de parâmetros. 3. densidade de indivíduos. 4. função Weibull. 5. estrutura diamétrica. I. Eloi Nappo, Mauro, orient. II. Vinícius Oliveira Castro, Renato, co-orient. III. Título.
--------	---

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, M. O. L. 2017. **Dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para multiprodutos.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-309/2018. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114 f.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Mirella Basileu de Oliveira Lima

TÍTULO: Dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para multiprodutos.

GRAU: Mestre ANO: 2018

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Mirella Basileu de Oliveira Lima

mirellabasileu@gmail.com

*Dedico à Jesus Cristo, senhor da minha vida e aos meus pais,
Edson e Ivette.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, por abençoar meus caminhos e por colocar as pessoas certas na minha vida.

Aos meus pais, Edson e Ivette, por se sacrificarem tanto por mim para me dar a melhor educação possível e me apoiarem na concretização de mais uma etapa da minha vida.

Aos meus irmãos, Iveson Gabriel e Victória (vickynha), pelo apoio e paciência nos momentos de estresse.

Ao Professor Mauro Nappo, não somente pela orientação e confiança a mim depositada, mas também, pelo respeito, conselhos de vida e momentos de risadas.

Ao Professor Co-orientador Renato Castro, pela orientação, disponibilidade e confiança no meu trabalho.

Aos membros da banca, Professores Eder Pereira, Thelma Shirlen e Ricardo Gaspar pela disponibilidade e contribuições com trabalho.

Ao meu namorado e melhor amigo Renan Matias, pelas sugestões no trabalho, pela paciência, apoio e compreensão.

À todos os meus amigos e colegas da pós-graduação da UnB, sou imensamente grata pelos momentos que trabalhamos juntos, pelo convívio no cotidiano e pelos momentos de descontração: Kálita, Milton, Maisa, Ilvan, Jéssica, Elian, Marco Bruno, Karla, Alexandre, Daniel, Máira, Jonas, Joabel, Josi, Myla, Matheus, Fabrícia, Érica, Fabiana.

Aos colegas da UFPR- Linamara, Myrcia, Amanda e Francisco (Chico), por me recebem com todo carinho em suas casas para eu estudar momentaneamente em Curitiba; e ao Marcos pelas sugestões que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da FAL- Geraldo, Sebastião, Maurão e Raulan pela ajuda com a coleta de dados e serem muito gentis e atenciosos.

À Universidade de Brasília (UnB) e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de fazer o curso de Mestrado.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

*“Em seu coração o homem planeja o seu
caminho, mas o Senhor determina
os seus passos”*

Provérbios 16:9

RESUMO GERAL

Autora: Mirella Basileu de Oliveira Lima
Orientador: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo
Coorientador: Prof. Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro
Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais
Brasília, 23 fevereiro de 2018.

RESUMO

Tem sido ao longo do tempo, objeto de grande interesse da pesquisa florestal reconhecer o comportamento de povoamentos implantados em diferentes espaçamentos com a finalidade de identificar o potencial de multiprodutos que os mesmos podem ofertar. Objetivou-se com o estudo avaliar a dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para produção de multiprodutos. O trabalho advém de um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob delineamento sistemático tipo “leque” localizado na Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília. O experimento constitui-se de 3 blocos com 12 espaçamentos, com densidades de plantio entre 0,50 m² e 41,25 m² de área vital por planta. Para a formação da base de dados deste estudo foram mensurados o diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) e Altura Total (Ht) de todos os indivíduos de 4 em 4 meses até 36 meses (8 medições). Adicionalmente, realizou-se a cubagem de 5 árvores em pé de cada espaçamento e bloco, medindo os diâmetros em seções de 0,5 m, da base do fuste até 5 metros de altura, nas idades de 16, 24 e 36 meses. A descrição da estrutura diamétrica foi por meio do ajuste de funções de densidade probabilidade Normal, Weibull 3p, Gamma, Dagum e SB de Jonhson, para cada espaçamento e idade. A qualidade do ajuste foi avaliada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha > 0,01$), coeficiente de correlação e raiz quadrada do erro médio. Com a função selecionada, ajustou-se um sistema de equação para cada espaçamento, para projetar beta, gama, diâmetro mínimo, diâmetro máximo e número de indivíduos. Adicionalmente foi ajustado equações hipsométricas e de *Taper* para cada espaçamento com o objetivo de projetar o volume total e por classe diamétrica para as idades 12, 24, 36 e 48 meses. Com o volume total, avaliou-se o incremento corrente anual e o incremento médio anual. E nas idades 36 e 48 meses foi realizado um comparativo entre: o povoamento destinados à multiprodutos (Cenário I) e o povoamento convertido para um único uso (Cenário II). A função Weibull 3p se ajustou em todos os espaçamentos e idades. Os espaçamentos com maiores DAP, ritmo de crescimento e número indivíduos foram 10 (19 m²), 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²). Os espaçamentos 1 (0,5 m²), 2 (0,77 m²) e 3 (1,17 m²) obtiveram menor ritmo de crescimento e alta mortalidade. Os espaçamentos 1, 2 e 3 apresentaram o crescimento das curvas de distribuição diamétricas tendendo a estagnação do crescimento diamétrico. A idade técnica de corte do povoamento do espaçamento 1 é aos 24 meses, do espaçamento 2 e 3 é aos 36 meses e para os espaçamentos 9 e 10, aos 48 meses. Os espaçamentos 2 (0,77 m²) e 4 (1,76 m²) é o mais adequado para regime de curta duração.

Palavras-chave: Roda de Nelder, projeção de parâmetros, densidade de indivíduos, função Weibull, estrutura diamétrica, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

GENERAL ABSTRACT

Author: Mirella Basileu de Oliveira Lima
Advisor: Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo
Co-Advisor: Prof. Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro
Forest Sciences Postgraduate Program
Brasília, february 2018.

ABSTRACT

It has been over time, the object of great interest of the forest research to recognize the behavior of stands implanted in different spacings in order to identify the potential of multiproducts that they can offer. The objective of this study was to evaluate the dynamics of the diametric distribution and prognosis of eucalyptus growth in different spacings for the production of multiproducts. The work comes from a planting of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* under a systematic "fan" design located at Fazenda Água Limpa, owned by the University of Brasília. The experiment consisted of 3 blocks with 12 spacings, with planting densities between 0.50 m² and 41.25 m² of living area per plant. For the formation of the database of this study, the diameter at 1.30 m of soil (DBH) and Total Height (Ht) of all individuals every 4 months up to 36 months (8 measurements) were measured. In addition, 5 standing trees of each spacing and block were measured, measuring the diameters in sections of 0.5 m, from the base of the stem up to 5 meters in height, at the ages of 16, 24 and 36 months. The description of the diametric structure was by means of the adjustment of normal probability density functions, Weibull 3p, Gamma, Dagum and SB of Jonhson, for each spacing and age. The quality of the fit was evaluated by the Kolmogorov-Smirnov ($\alpha > 0.01$) adhesion test, correlation coefficient and mean root mean square root. With the function selected, we fitted an equation system for each spacing, to design beta, range, minimum diameter, maximum diameter and number of individuals. Additionally, Tapips and hypsometric equations were adjusted for each spacing in order to design the total volume and per diameter class for ages 12, 24, 36 and 48 months. With the total volume, the current annual increment and the average annual increment were evaluated. And in the 36 and 48 months, a comparison was made between: the population destined to the multiproducts (Scenario I) and the population converted to a single use (Scenario II). The Weibull 3p function has been set at all all spacings and ages. The spacings with higher DBH, growth rate and number of individuals were 10 (19 m²), 11 (28.01 m²) and 12 (41.25 m²). The spacings 1 (0.5 m²), 2 (0.77 m²) and 3 (1.17 m²) had lower growth rates and high mortality. The spacings 1, 2 and 3 showed the growth of the diametric distribution curves tending to the stagnation of the diametric growth. The technical cutting age of the stand spacing 1 is at 24 months, the spacing 2 and 3 is at 36 months and at spacings 9 and 10, at 48 months. The spacings 2 (0.77 m²) and 4 (1.76 m²) are the most suitable for short term regime.

Key-words: Nelder plots, parameter projection, density of individuals, Weibull function, diameter structure, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	2
CAPITULO 1- EFEITO DO ESPAÇAMENTO NA DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO.	3
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2 Objetivo específico	5
3. HIPÓTESES	5
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
4.1 Caracterização da área de estudo.....	5
4.2 Caracterização do experimento e coleta de dados	7
4.3 Análise de dados.....	8
4.3.1 Estatísticas descritivas e agrupamento de classes.....	8
4.3.2 Ajuste das funções de densidade probabilidade	9
4.3.3 Seleção de modelos	10
4.3.4 Análise da estrutura diamétrica	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5.1 Estatística descritiva	12
5.2 Ajuste da função de densidade e probabilidade.....	16
5.3 Análise da estrutura diamétrica	20
6.CONCLUSÕES	30
REFERÊNCIAS	31
CAPITULO 2- PROGNOSE DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE <i>Eucalyptus urophylla</i> X <i>Eucalyptus grandis</i> EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS	35
1. INTRODUÇÃO.....	35
2. OBJETIVO	36
2.1. Objetivos específicos.....	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1 Caracterização da área de estudo e do experimento.....	37
3.2 Coleta de dados.....	37
3.3 Prognose da distribuição diamétrica.....	37
3.4 Modelos de <i>taper</i> e hipsométricos.....	40
3.5 Projeção do volume por classe diamétrica	40
3.6 Multiprodutos	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.1 Sistema de projeção	42
4.1.1 Número de indivíduos (N).....	42
4.1.2 Beta (β).....	43
4.1.3 Gama (γ)	45
4.1.4 Diâmetro máximo ($D_{m\acute{a}x}$).....	47
4.1.5 Diâmetro mínimo ($D_{m\acute{i}n}$).....	49
4.1.6 Validação.....	51
4.2 Projeção do volume por classe diamétrica	53
4.2.1 Altura	53
4.2.2 <i>Taper</i>	56

4.3 Crescimento e produção do volume por classe diamétrica.....	58
5.3 Sortimentos.....	68
6.CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS.....	75
ANEXO I.....	79
ANEXO II.....	95

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo (15° 58' 8''S e 47° 54' 14''O), Brasília, DF. Imagem CODEPLAN-DF, ano de 2015. Datum WGS84..... 6
- Figura 2.** Dados mensais de precipitação (mm), temperatura (°C) média, mínima e máxima da Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. Em que: Prec= precipitação e T= temperatura. 6
- Figura 3.** Croqui da instalação do experimento em delineamento sistemático tipo “leque” de 12 espaçamentos com 36 plantas cada, com híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*..... 7
- Figura 4.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 1(0,50 m²) e 2 (0,77 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 21
- Figura 5.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 3 (1,17 m²) e 4 (1,76 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 22
- Figura 6.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 5 (2,64 m²) e 6 (3,94 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 23
- Figura 7.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 7 (5,86 m²) e 8 (8,69 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 24
- Figura 8.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 9 (12,86 m²) e 10 (19 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 25
- Figura 9.** Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. 26
- Figura 10.** Distribuição de resíduos em relação ao número de indivíduos projetado (N) para os espaçamentos 1 (0,50 m²), 2 (0,77 m²) e 3 (1,11m²). 43
- Figura 11.** Distribuição de resíduos em relação a variável beta projetada para cada espaçamento. 45
- Figura 12.** Distribuição de resíduos em relação a variável gama projetada para cada espaçamento. 47

Figura 13. Distribuição de resíduos em relação a variável diâmetro máximo projetado ($D_{máx2}$) para cada espaçamento.....	49
Figura 14. Distribuição de resíduos em relação a variável diâmetro mínimo projetado ($D_{mín2}$) para cada espaçamento.	51
Figura 15. Distribuição de resíduos em relação a variável altura observada, em metros, para cada espaçamento.....	55
Figura 16. Distribuição de resíduos em relação ao diâmetro observado ao longo do fuste (cm), para cada espaçamento.	58
Figura 17. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 1(0,50m ²), 2 (0,77m ²) e 3 (1,17m ²) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.	59
Figura 18. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 4 (1,76m ²), 5 (2,64m ²) e 6 (3,94m ²) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.	60
Figura 19. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 7 (5,86m ²), 8 (8,69m ²) e 9 (12,86m ²) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.	61
Figura 20. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 10 (19,00 m ²), 11 (28,01 m ²) e 12 (41,25 m ²) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.....	62
Figura 21. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 1(0,50m ²), 2 (0,77m ²) e 3 (1,17m ²) dos períodos 12° ao 48° mês.	64
Figura 22. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 4 (1,76 m ²), 5 (2,64 m ²) e 6 (3,94 m ²) dos períodos 12° ao 48° mês.	65
Figura 23. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 7 (5,86 m ²), 8 (8,69 m ²) e 9 (12,86 m ²) dos períodos 12° ao 48° mês.	66
Figura 24. Curvas de crescimento do Incremento corrente anual (ICA) e o Incremento médio anual (IMA) para os espaçamentos 10 (19,00 m ²), 11 (28,01 m ²) e 12 (41,25 m ²) dos períodos 12° ao 48° mês.	67

Figura 25. Número de produtos gerados para cada espaçamento nas idades 36 e 48 meses.	68
Figura 26. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 1(0,50 m ²), 2 (0,77 m ²), 3 (1,17 m ²) e 4 (1,76 m ²) de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades 36 e 48 meses.	70
Figura 27. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 5 (2,64m ²), 6 (3,94 m ²), 7 (5,86 m ²) e 8 (8,69 m ²) e de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades 36 e 48 meses.	71
Figura 28. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 9 (12,86m ²), 10 (19,00 m ²), 11 (28,01 m ²) e 12 (41,25 m ²)e de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> nas idades 36 e 48 meses.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas para 12 espaçamentos no delineamento sistemático tipo “leque”. FONTE: Aquino, (2017).	8
Tabela 2. Estatísticas descritivas dos dados estratificados por espaçamento e idade em meses.	14
Tabela 3. Parâmetros e estatísticas de precisão das funções de densidade probabilidade selecionadas para cada espaçamento e idade.	18
Tabela 4. Grau de assimetria, intensidade, curtose e forma das curvas de distribuição diamétrica em cada espaçamento e idade.....	27
Tabela 5. Sistema de modelos de projeção utilizado para cada espaçamento de um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	39
Tabela 6. Produtos comercializados localmente, com suas medidas e preço de venda.....	42
Tabela 7. Equações ajustadas para projetar o número de indivíduos (N) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1, 2 e 3.	42
Tabela 8. Equações ajustadas para estimar o parâmetro Beta (β) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.	44
Tabela 9. Equações ajustadas para projetar o parâmetro gama (γ) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 a 12.	46
Tabela 10. Equações ajustadas para projetar a variável diâmetro máximo (d_{max}) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.	48
Tabela 11. Equações ajustadas para projetar a variável diâmetro mínimo (d_{min}) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.	50
Tabela 12. Teste de aderência de Kolmogorov Smirnov ($p > 0,5$ e $p > 0,01$) para a frequência acumulada teórica e projetada para as idades 12 a 36 meses de cada espaçamento. ...	52
Tabela 13. Estimativa das equações hipsométricas gerais ajustadas para cada espaçamento com suas respectivas estatísticas de precisão.	54
Tabela 14. Estimativa das equações de volume individual gerais ajustadas para cada espaçamento com suas respectivas estatísticas de precisão.	56

Tabela 15. Volume projetado para cada espaçamento nas idades 36 e 48 meses. 74

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas possuem alta importância mercadológica, e, segundo os dados do relatório do *Global Forest Resources Assessment* (FRA, 2015), as áreas de florestamentos no mundo aumentaram em mais de 105 milhões de hectares de 1990 a 2015, passando de 186 para 291 milhões de hectares, o que amenizou a pressão sobre várias florestas naturais e entre outros impactos positivos propiciou a reutilização de áreas degradadas, sequestro de carbono e preservação do solo.

No âmbito nacional, a área total de florestas plantadas registrada em 2016 foi de 10,02 milhões de hectares, com crescimento de 0,86% em relação ao ano 2015. Desta área total, 37,05% da produção é destinada para a produção de celulose e papel, 27,16% para outras finalidades, 17,53% para carvão vegetal, 15,93% para lenha e 2,32% para outros produtos, como casca, folhas e resinas (IBGE-PEVS, 2016).

O mesmo relatório elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE-PEVS, 2016) destaca o gênero *Eucalyptus* por ser de grande importância para o setor de florestas plantadas, com representatividade 75,26% da área total de florestas plantadas no Brasil. Grande parte destas áreas são pertencentes às empresas do setor de base florestal, porém, as espécies do gênero vêm atraindo investimentos de pequenos produtores rurais como forma de diversificação da renda na propriedade.

A madeira pode ser destinada à uma única finalidade, como carvão, lenha, toras para serraria, celulose, escoras, moirões etc., sendo a espécie e as dimensões (comprimento, diâmetro e forma do fuste) limitantes para muitos usos.

Considerando que as dimensões das árvores variam ao longo do tronco é possível obter multiprodutos de uma mesma árvore. Neste sentido, o conceito de multiprodutos refere-se ao uso da madeira para laminação, serraria, postes, mourões, lenha, entre outros, de um mesmo fuste de uma árvore (SOARES et al., 2003). Para destinar a produção florestal em multiprodutos, torna-se necessário entender sobre as práticas silviculturais que irão interferir no ritmo de crescimento e nas dimensões do fuste. Dentre as práticas silviculturais, destaca-se a escolha do espaçamento como decisão fundamental no produto final.

O comportamento da árvore, quanto as suas dimensões, é definido pela espécie escolhida, pela qualidade do sítio em que está se desenvolvendo e pela pressão de

competição entre os indivíduos, esta última definida pelo espaçamento de plantio (BAKER, 1950). O espaçamento irá determinar a área útil que os indivíduos possuem para se desenvolver (HILEY, 1959), e isto afeta variáveis dendrométricas como o diâmetro, a velocidade do crescimento em altura, a diferenciação de parte aérea em fuste e copa, forma do tronco, etc. e conseqüentemente podem propiciar diferentes produtos e proporções dos mesmos.

A variável mais afetada pelo espaçamento é o diâmetro, onde, espaçamentos mais amplos tendem a ter diâmetros maiores quando comparada aos mais adensados (HAWLEY; SMITH, 1962; CLUTTER et al., 1983). Desta forma, tem sido ao longo do tempo objeto de grande interesse da pesquisa florestal conhecer o comportamento de povoamentos implantados em diferentes espaçamentos com a finalidade de identificar o potencial de multiprodutos que os mesmos podem ofertar.

Neste contexto, este estudo teve por objetivo avaliar a dinâmica da distribuição diamétrica e prognose do crescimento de eucalipto em diferentes espaçamentos para produção de multiprodutos.

REFERÊNCIAS

- BAKER, F. S. **Principles of silviculture**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1950.
- CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983.
- FRA – Global Forest Resources Assessment. Roma. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 2015. Disponível em: <www.fao.org/3/a-i4808e.pdf> Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. John Wiley ed. New York -London: John Wiley & Sons, 1962.
- HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959.
- IBGE-PEVS. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e da silvicultura- PEVS. Rio de Janeiro. Sistema IBGE de Recuperação Automática de dados –SIDRA, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5930>> Acesso em 20 de janeiro de 2018.
- SOARES, T. S.; VALE, A. B. Do; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811–820, 2003.

CAPITULO 1- EFEITO DO ESPAÇAMENTO NA DINÂMICA DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO.

1. INTRODUÇÃO

A silvicultura de maneira geral é definida como a arte de produzir e cuidar de uma floresta (HAWLEY; SMITH, 1962), de forma a desenvolver técnicas de plantio e condução do povoamento que atendam os objetivos, sejam sociais, econômicos e ambientais. Para promover esse conhecimento sobre as melhores práticas silviculturais é necessário entender sobre os fatores condicionantes do crescimento e da produção florestal, em destaque o espaçamento (BALLONI; SIMÕES, 1980).

De forma geral, os estudos envolvendo diferentes espaçamentos implicam em investir em grandes áreas e recursos de instalação, manutenção e monitoramento. Como alternativa, Nelder (1962) formulou os delineamentos sistemáticos, sendo o mais conhecido o tipo “leque”. Este delineamento consiste num sistema de raios concêntricos em que a razão entre as distâncias inter e intra linhas (retangularidade) é constante. Aquino (2017) ressalta que a principal vantagem é que o mesmo permite avaliar um maior número de espaçamentos possíveis (incluindo tratamentos extremos) em menores áreas experimentais, reduzindo assim a necessidade de grande demanda de recursos e mão-de-obra, facilitando o manejo do ensaio. Sendo assim, trabalhos mais recentes têm utilizado este tipo de delineamento para avaliar diferentes espaçamentos (SANTOS, 2011; MORAES et al., 2013; VANCLAY et al., 2013; AQUINO, 2017).

O espaçamento irá interferir no tamanho de área que a planta possui para explorar os recursos, afetando não somente nas dimensões e ritmo de crescimento de cada indivíduo (ASSMANN, 1970; SMITH, 1986), mas também na estrutura do povoamento como um todo.

Para Husch et al. (1982), a estrutura de uma floresta pode ser descrita pela distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro, entretanto esta estrutura diamétrica é dinâmica ao longo do tempo, devido ao crescimento dos indivíduos, à mortalidade ou à desbastes (cortes seletivos e sistemáticos). A compreensão da distribuição diamétrica de um povoamento é importante pois é a etapa preliminar para a avaliação de estoque de produção correntes e futuras (AVERY; BURKHART, 2002; CAMPOS; LEITE, 2017).

Para a descrição da distribuição diamétrica é necessário o monitoramento sistemático da floresta por meio de parcelas permanentes (SCHAAF et al., 2006) ou inventário 100% (MACHADO et al., 2009). Em seguida, agrupa-se os indivíduos por classe de diâmetro, com amplitude entre classes conhecida, afim de obter o histograma de frequência e possibilitar o ajuste de funções de densidade de probabilidade (FDP's).

As FDP's são funções matemáticas que descrevem a probabilidade de ocorrência da variável estudada em uma distribuição contínua (CAMPOS; LEITE, 2017). A faixa de ocorrência desta variável aleatória é dada pela integral desta função. Se tratando de distribuições diamétricas, as FDP's estimam a probabilidade de ocorrência de indivíduos dentro de um intervalo de classes diamétricas, conhecendo os limites inferior e superior (SCOLFORO, 2006).

As funções mais utilizadas para espécies do gênero de *Eucalyptus* sp. são: Weibull (MIGUEL et al., 2010; RETSLAFF et al., 2012; SCHMIDT, 2017), Sb de Johnson (SILVA et al., 2009 ; FERREIRA, 2011), Dagum (JESUS et al., 2017) e Gama (ARAÚJO JÚNIOR et al. 2013). Apesar da função Weibull ser a mais utilizada, é necessário testar diferentes funções de densidade probabilidade, pois as outras FDP's podem ter um ajuste mais satisfatório e o seu desempenho pode variar dependendo da espécie, sítio, idade e espaçamento (BARTOSZECK, 2000).

Diante do exposto, são necessários estudos que ampliem o conhecimento sobre o efeito do espaçamento e da idade na distribuição diamétrica de povoamentos florestais de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, bem como o uso de ferramentas matemáticas que descrevam esta estrutura de forma precisa e consistente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito inicial do espaçamento na dinâmica da distribuição diamétrica de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em delineamento sistemático tipo “leque”.

2.2 Objetivo específico

Avaliar o efeito do espaçamento no desempenho de funções de densidade de probabilidade na descrição da estrutura diamétrica observada em diferentes espaçamentos a diferentes idades.

3. HIPÓTESES

-Diferentes espaçamentos interferem na estrutura diamétrica em povoamentos de eucalipto ao longo do tempo;

-Funções de densidade probabilidade ao descrever a estrutura diamétrica apresentam comportamento distinto para diferentes espaçamentos a diferentes idades.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido na Fazenda Água Limpa (FAL), de propriedade da Universidade de Brasília (UnB), em Brasília-DF, (Figura 1). Sua área totaliza em 4.390 ha, com cobertura predominantemente de cerrado *sensu stricto* e as classes de solos mais comuns são Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1978).

O clima local é classificado como Aw, denominado clima tropical de inverno seco, segundo critérios de Köppen (1939) e detalhado por Alvares et al. (2013). Os dados climatológicos mensais de todo o período de estudo (Figura 2) foram obtidos pela estação meteorológica automática da FAL.

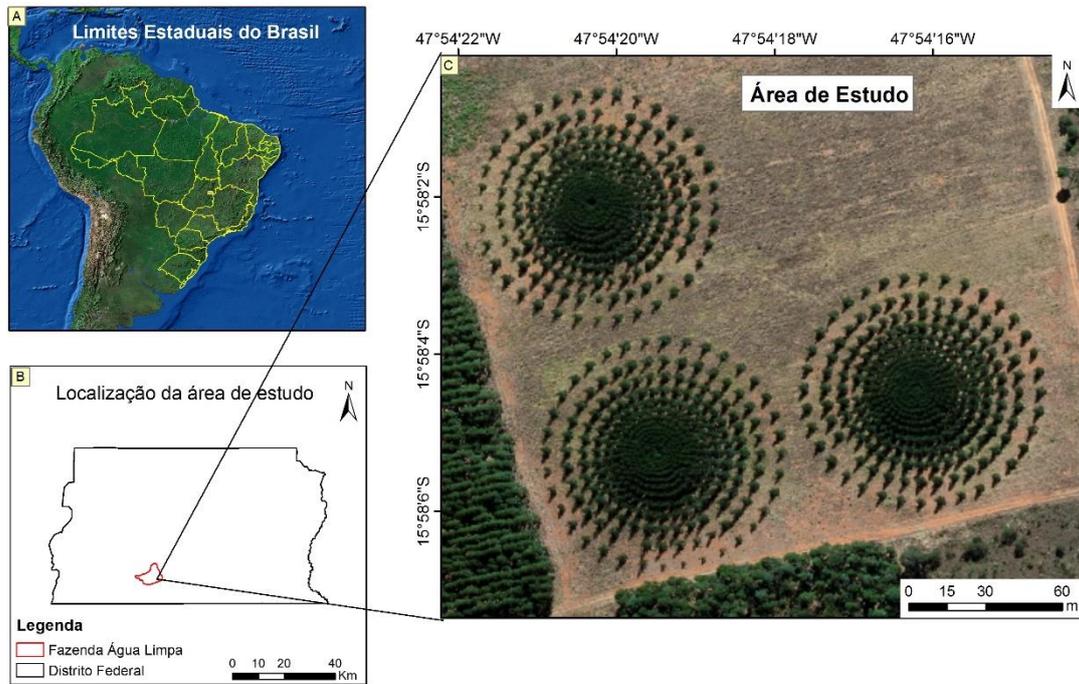


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo (15° 58' 8''S e 47° 54' 14''O), Brasília, DF. Imagem CODEPLAN-DF, ano de 2015. Datum WGS84.

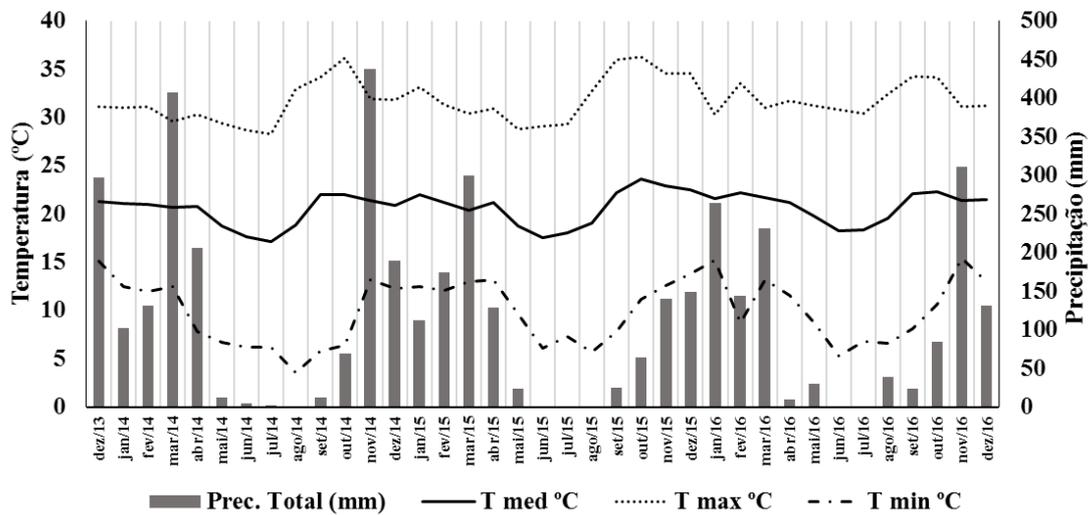


Figura 2. Dados mensais de precipitação (mm), temperatura (°C) média, mínima e máxima da Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. Em que: Prec= precipitação e T= temperatura.

4.2 Caracterização do experimento e coleta de dados

Os dados utilizados neste estudo advêm de um delineamento sistemático tipo “leque”, conforme proposto por Nelder (1962). O experimento foi instalado no mês de dezembro de 2013, sendo realizado plantio do híbrido clonal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, denominado comercialmente de clone EAC 1528.

O experimento foi instalado e conduzido conforme descrito por Aquino (2017), o qual possui 14 espaçamentos (arcos) distintos, tendo em cada um 36 árvores (Figura 3). O primeiro e o último arco foram desconsiderados, pois são respectivamente, uma bordadura interna e externa, totalizando 12 espaçamentos efetivos.

O experimento instalado é uma adaptação do leque proposto por Namkoong (1966) apud Stape (1995), em que optou-se não somente implementar o círculo completo, mas também gerar repetições. Sendo assim, as plantas estão dispostas em três círculos (Blocos) idênticos, em que cada bloco possui área circular de 0,62 ha.

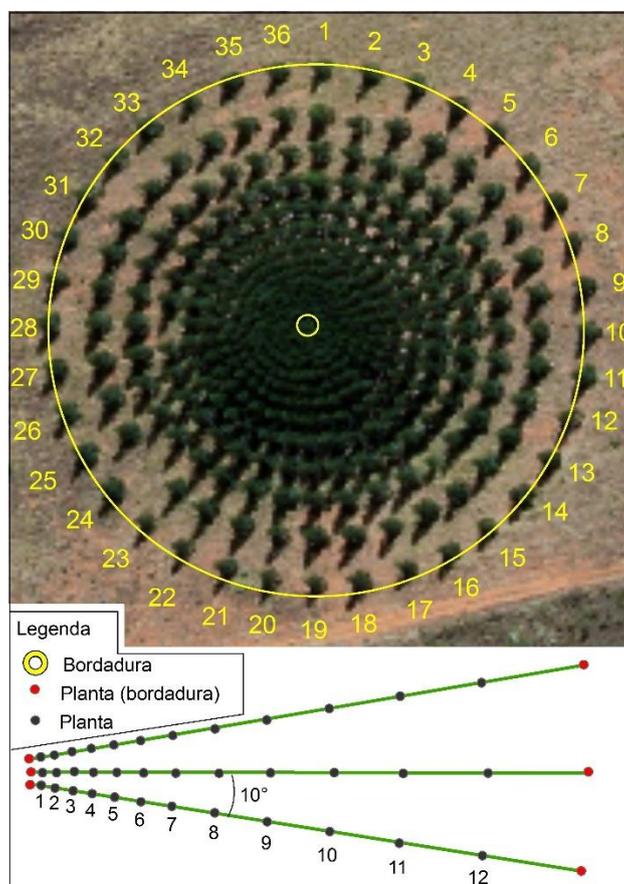


Figura 3. Croqui da instalação do experimento em delineamento sistemático tipo “leque” de 12 espaçamentos com 36 plantas cada, com híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

Como descrito por Aquino (2017), para a implantação do experimento, o raio inicial r_0 (distância do ponto central do círculo à bordadura interna) para cada espaçamento foi definido utilizando a razão da progressão geométrica dos raios ou fator de espaçamento (α), o ângulo entre os mesmos (θ) e a área (A_i) entre as plantas. Os valores encontrados para este experimento foram: $r_0 = 2,80$ m, $\alpha = 1,11$ e $\theta = 10^\circ$. E a partir desses valores do delineamento, encontrou-se os valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas para cada tratamento (Tabela 1).

Para a realização deste estudo foram medidos quadrimestralmente o DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) e de altura total (Ht) de todos os indivíduos a partir do 8º até o 36º mês, totalizando 8 idades (medições). Todas as plantas foram etiquetadas por meio de placas de alumínio numeradas e presas ao fuste. Foram, também, avaliadas as ocorrências de falhas e de mortalidade.

Tabela 1. Valores da distância radial, área por planta e densidade de plantas para 12 espaçamentos no delineamento sistemático tipo “leque”.

Tratamento	Classificação	Espaçamento (entre plantas x entre raios)	Distância radial entre indivíduos (m)	Área vital (m ² .planta ⁻¹)	Densidade (plantas.ha ⁻¹)
1	Adensado	0,80 x 0,63	3,59	0,50	20.000
2	Adensado	0,96 x 0,80	4,56	0,77	12.987
3	Adensado	1,17 x 1,00	5,73	1,17	8.547
4	Adensado	1,41 x 1,25	7,14	1,76	5.682
5	Adensado	1,71 x 1,54	8,85	2,64	3.788
6	Adensado	2,07 x 1,91	10,92	3,94	2.538
7	Intermediário	2,50 x 2,34	13,42	5,86	1.706
8	Intermediário	3,03 x 2,87	16,45	8,69	1.151
9	Intermediário	3,66 x 3,51	20,11	12,86	778
10	Amplio	4,43 x 4,28	24,55	19,00	526
11	Amplio	5,37 x 5,22	29,91	28,01	357
12	Amplio	6,49 x 6,35	36,40	41,25	242

FONTE: Aquino, (2017).

4.3 Análise de dados

As análises dos dados foram divididas nas seguintes etapas: (i) Estatísticas descritivas e agrupamento de classes; (ii) Ajuste de funções de densidade probabilidade; (iii) Seleção dos melhores modelos; e (iv) Análise da estrutura diamétrica.

4.3.1 Estatísticas descritivas e agrupamento de classes

Inicialmente, foram calculadas as estatísticas descritivas da variável DAP de cada espaçamento a cada idade, obtendo os valores médios, máximo, mínimo, variância e

desvio padrão, como também, a amplitude dos dados, número de indivíduos e número de classes. A amplitude de classe foi definida como padrão de 1 cm.

4.3.2 Ajuste das funções de densidade probabilidade

Para descrever a estrutura diamétrica, foi estimado o número de árvores por hectare para cada classe de diâmetro por meio do ajuste de funções de densidade probabilidade (FDP) Normal (Eq1), Weibull 3p (Eq2), Gamma (Eq3), Dagum (Eq4) e SB de Jonhson (Eq5), para cada espaçamento (12) e idade (8). As estimativas dos parâmetros dos modelos foram realizadas por meio do método da máxima verossimilhança (GOVE; FAIRWEATHER, 1989). O software utilizado para os ajustes das funções Normal, Gamma, Dagum e SB de Jonhson foi o EasyFit 5.5 (MATHWAVE, 2010) e a função Weibull 3p foi ajustada utilizando uma planilha do Microsoft Excel (2016) em que as estimativas dos parâmetros seguiu a proposta metodológica de Barra et al. (2004).

a) Função Normal (MEYER, 1977)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} * e^{-\left(\frac{1}{2}\right)\frac{(x_i-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (\text{Eq1})$$

Em que: $f(x)$ = probabilidade de frequência por unidade de área; x_i = centro de classe do diâmetro (cm); μ = média; σ = desvio padrão.

b) Função Weibull3p (BAILEY; DELL, 1972)

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} * \left(\frac{x_i - \alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} * e^{-\left[\left(\frac{x_i - \alpha}{\beta}\right)^\gamma\right]} \quad (\text{Eq2})$$

Em que: $f(x)$ = probabilidade de frequência por unidade de área; x_i = centro de classe do diâmetro (cm); α = parâmetro de locação, indica a alocação inicial do diâmetro mínimo ($D_{\min} \leq \alpha \leq 0$; $\alpha \geq 0$); β = parâmetro de escala ($\beta > 0$); γ = parâmetro de forma da distribuição ($\gamma > 0$).

c) Função Gama (NELSON, 1964)

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} * (x - x_{\min})^{\alpha-1} * e^{-\left(\frac{1}{\beta}\right)(x-x_{\min})} \quad (\text{Eq3})$$

Em que: $f(x)$ = probabilidade de frequência por unidade de área; x_i = centro de classe do diâmetro (cm); α = parâmetro de forma ($\alpha \geq 0$); β = parâmetro de escala ($\beta > 0$); $\Gamma(\alpha)$ = função Gama do parâmetro alfa;

d) Função Dagum (KLEIBER; KOTZ, 2003)

$$f(x) = \frac{\alpha k \left(\frac{x_i}{\beta}\right)^{\alpha\alpha-1}}{\beta \left(1 + \left(\frac{x_i}{\beta}\right)^\alpha\right)^{k+1}} \quad (\text{Eq4})$$

Em que: $f(x)$ = probabilidade de frequência por unidade de área; x_i = centro de classe do diâmetro (cm);

e) Função Sb de Johnson (JOHNSON, 1949)

$$f(x) = \left(\frac{\delta}{\sqrt{2\pi}}\right) \frac{\lambda}{(\varepsilon + \lambda - d)(d - \varepsilon)} \exp\left[-\frac{1}{2}\left[\gamma + \delta\left(\frac{d - \varepsilon}{\varepsilon - \lambda - d}\right)\right]^2\right] \quad (\text{Eq5})$$

Em que: $f(x)$ = probabilidade de frequência por unidade de área; x_i = centro de classe do diâmetro (cm); ε =parâmetro de locação ($\varepsilon < x < \varepsilon + \lambda$; $-\infty < \varepsilon < +\infty$); λ = parâmetro de escala, amplitude entre o menor e maior diâmetro observado ($\lambda > 0$); δ = parâmetro de forma, curtose ($\delta > 0$); γ = parâmetro de forma, assimetria ($-\infty < \gamma < +\infty$).

4.3.3 Seleção de modelos

Para avaliação dos ajustes dos modelos aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) conforme descrito por (GIBBONS; SUBHABRATA, 1992) ao nível de 95% de probabilidade, comparando as frequências reais com as frequências teóricas estimadas pela função probabilística ajustada para cada estratificação em espaçamento e idade. Este teste é caracterizado pela diferença máxima absoluta entre a frequência observada acumulada e a frequência estimada acumulada denominado de “Dcal” e a diferença tabelada é denominada de “Dtab”:

$$D_{cal} = |\text{MAX}[f(x) - S(x)]| \quad (\text{Eq6})$$

$$D_{tab} = \frac{1,63}{\sqrt{N}} \quad (\text{Eq7})$$

Em que: Dcal = ponto máximo de divergência entre as probabilidades de frequência observada e estimada; Dtab= diferença tabelada ao nível 95% de probabilidade; N= número total de observações; F(x) = probabilidade da função de distribuição cumulativa observada da amostra; S(x) = probabilidade da função de distribuição cumulativa teórica esperada.

Sendo assim, se $D_{cal} < D_{tab}$, aceita-se a hipótese nula (H0), ou seja, os diâmetros observados seguem a distribuição probabilística.

Para selecionar a FDP que melhor descreve a estrutura diamétrica para cada espaçamento, foi primeiramente elaborado um Ranking de 1 a 5 das funções do mesmo espaçamento e idade, em que a função que tiver o menor Dcal recebe o valor 1 e o maior Dcal recebe o valor 5. Em seguida, as pontuações de todas as idades por espaçamento foram somadas e o modelo que apresentou o menor valor foi selecionado.

Adicionalmente, para avaliar a qualidade dos ajustes, calculou-se a raiz quadrada do erro médio (RQEM%) conforme recomendado ou orientado por Murphy; Sternitzke (1979) e a correlação de Pearson ($r_{y\hat{y}_i}$), representadas pelas equações 8 e 9 a seguir:

$$RQEM(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}{N}} * 100 / \bar{x} \quad (\text{Eq8})$$

$$r_{y\hat{y}_i} = \frac{\text{cov}(y_i, \hat{y}_i)}{\sqrt{\text{var}(y_i) \text{var}(\hat{y}_i)}} \quad (\text{Eq9})$$

Em que: RQEM (%)= raiz quadrada do erro médio; $r_{y\hat{y}_i}$ = correlação entre diâmetro observado e estimado; x_i e \hat{x}_i = diâmetros observados e estimados; \bar{x} = diâmetro médio observado.

4.3.4 Análise da estrutura diamétrica

A análise da dinâmica da estrutura diamétrica foi realizada de forma visual, gerando gráficos para cada espaçamento com curvas de distribuição diamétrica teórica estimadas pela melhor FDP para todas as idades.

Para caracterizar a forma das curvas teóricas foram calculados o coeficiente de assimetria de Pearson (Eq10) e a curtose (Eq11). A assimetria de Pearson calcula o grau do desvio de um ponto de simetria, ou seja, quando a média, mediana e moda se coincidirem (CORREA, 2003). O deslocamento dessas curvas pode ser para direita ou esquerda e variar de intensidade, sendo fraca, moderada e forte (PEREIRA; TANAKA, 1990).

Quanto à curtose, calcula-se o grau de achatamento de uma distribuição em relação a curva normal. Quando a distribuição for mais fechada ou aguda na parte superior, nomeia-se como leptocúrtica. A tendência oposta recebe o nome de platicúrtica, e por último, mesocúrtica quando a curva teórica se assemelha a curva normal (CRESPO, 2002):

a) Assimetria

$$A_s = \frac{3(\bar{x} - M_d)}{s} \quad (\text{Eq10})$$

Em que: \bar{x} = média aritmética; M_d = mediana; S = desvio padrão; $AS < 0$ = assimetria à esquerda ou negativa; $AS > 0$ = assimetria à direita ou positiva; $0,15 \geq |A_s|$ = fraca; $0,15 \leq |A_s| \leq 1$ = moderada; e $|A_s| \geq 1$ = Forte.

b) Curtose

$$C = \frac{(Q_3 - Q_1)}{2(P_{90} - P_{10})} \quad (\text{Eq11})$$

Em que: Q_1 = primeiro quartil; Q_3 = terceiro quartil; P_{10} = percentil 10°; P_{90} = percentil 90°; Se $C = 0,263$: curva mesocúrtica; $C < 0,263$: curva leptocúrtica; e $C > 0,263$ curva platicúrtica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística descritiva

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise descritiva dos dados observados de DAP e Ht estratificados por espaçamento ao longo das idades de 8 a 36 meses. Os dados de Ht foram apresentados para o conhecimento do povoamento, mas não foi objeto de estudo deste capítulo. Para o total dos dados, os diâmetros variaram de 0,5 a 17 cm, o número de classes estiveram entre 3 e 12 e a quantidade de indivíduos medidos por estrato (espaçamento x idade) foram entre 73 e 108. Nota-se que a partir do 16° mês, o DAP médio foi maior nos espaçamentos mais amplos do que os mais adensados. Este resultado também foi encontrado em outros estudos comparando plantios de eucalipto em diferentes espaçamentos (REINER; SILVEIRA; SZABO, 2011; MACHADO, 2014; ELERATI, 2017).

Foi observado o crescimento em diâmetro, número de classes e a amplitude total dos dados em todos os espaçamentos ao longo de todas as idades. Quanto ao crescimento

em diâmetro, o ritmo de crescimento foi maior nos espaçamentos mais amplos, destacando os espaçamentos 10 (19 m²), 11 (28,91 m²) e 12 (41,25 m²), com taxa de crescimento do DAP médio entre a primeira e última medição de 540,9%, 513,9% e 475%, respectivamente. Quanto aos de menor ritmo de crescimento, foram os espaçamentos 1 (0,5 m²), 2 (0,77 m²) e 3 (1,17 m²), com o percentual de crescimento de 120,83%, 150% e 175,86%, respectivamente.

O crescimento em diâmetro observado em todos os espaçamentos, são indícios de que os espaçamentos, representando povoamentos distintos, ainda não estão totalmente estocados. Esta observação também foi feita nos estudos de Schmidt (2017), trabalhando com povoamentos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, sítios e densidades na região central do Estado de Minas Gerais.

Os espaçamentos com maiores números de classes no mês 36^o, foram do 3 ao 6, com número de classe variando de 10 ou 12. Já os espaçamentos intermediários (7, 8 e 9) tiveram menor amplitude de classes aos 36 meses, comparado aos extremos (mais adensado ou mais amplos), refletindo em menor desvio padrão.

O resultado obtido está relacionado com a competição por recursos do sítio, seja muito intensa ou insipiente/inexistente (BAKER, 1950; HAWLEY; SMITH, 1962). Assim os autores explicam que, no primeiro caso haja a diferenciação de classes de copa (dominantes, intermediárias e suprimidas), pois os recursos se tornam escassos para a alta densidade de plantas, levando a desestruturação do povoamento, inclusive com aumento de mortalidade. No segundo caso, a competição inexistente ou insipiente faz com que a variação na estruturação do povoamento seja reflexo exclusivo do comportamento individual e as variações encontradas seguem de forma independente para cada indivíduo. Em situações intermediárias a competição por recursos do sítio ocorre fora dos limites extremos, o que permite uma melhor regulação do crescimento proporcionando maior homogeneidade. No entanto, estas relações de competição vão sendo alteradas com a idade, sendo o extremo de competição por recursos alcançados dos menores para os maiores espaçamentos a maiores idades.

Quanto a variação do número de indivíduos dada pela mortalidade, os espaçamentos mais adensados (1, 2 e 3) foram os que tiveram maior mortalidade, somando um total de 32 (30,47%), 14 (13,33%) e 9 (8,41%) indivíduos, respectivamente. Os espaçamentos 5 (2,64 m²) e 10 (19 m²) tiveram a mortalidade de apenas um indivíduo

e para o restante dos espaçamentos, não houve mortalidade. Silva (1990) também associa espaçamentos mais adensados com maior taxa de mortalidade das plantas.

Alta mortalidade observada neste estudo para espaçamentos mais adensados é explicada por uma das leis biológicas fundamentais da silvicultura, a lei de seleção natural, onde os indivíduos mais adaptados utilizam os recursos escassos disponíveis e outras plantas morrem por falta deste (HAWLEY; SMITH, 1962).

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos dados estratificados por espaçamento e idade.

Idade (meses)	Esp	DAP mín	DAP méd	DAP máx	S ²	S	Ht mín	Ht méd	Ht máx	S ²	S	Nº classes	Amp	NºI.área ⁻¹	NºI.ha ⁻¹
8	1	0,5	2,4	3,3	0,32	0,56	2,00	4,92	6,00	0,42	0,64	4	2,8	105	19444
	2	1	2,8	3,5	0,22	0,46	2,97	5,12	5,95	0,26	0,51	3	2,5	105	12626
	3	0,5	2,9	3,9	0,50	0,71	2,10	5,04	6,30	0,52	0,72	4	3,4	107	8468
	4	0,5	3,0	3,9	0,43	0,66	2,25	4,87	6,00	0,43	0,66	4	3,4	107	5629
	5	1	2,9	4,0	0,48	0,69	2,50	4,49	5,75	0,42	0,65	3	3,0	107	3753
	6	0,5	2,7	3,9	0,65	0,81	0,50	4,05	5,73	0,74	0,86	4	3,4	106	2491
	7	0,5	2,7	3,8	0,73	0,85	0,90	3,81	5,25	0,57	0,75	4	3,3	105	1659
	8	0,5	2,5	3,7	0,74	0,86	0,80	3,49	4,60	0,56	0,75	4	3,2	108	1151
	9	0,5	2,3	3,6	0,52	0,72	0,90	3,37	4,60	0,38	0,61	4	3,1	107	770
	10	0,5	2,4	3,5	0,68	0,83	0,75	3,27	4,40	0,43	0,66	4	3,0	106	517
	11	0,5	2,3	3,9	0,74	0,86	0,60	3,11	4,26	0,51	0,72	4	3,4	106	350
	12	0,5	2,2	3,2	0,70	0,83	0,60	3,01	4,00	0,45	0,67	4	2,7	104	233
12	1	0,5	3,0	4,3	0,38	0,62	2,40	6,09	7,30	0,44	0,67	5	3,8	104	19259
	2	1	3,5	4,3	0,25	0,50	3,70	6,28	7,25	0,31	0,56	4	3,3	105	12626
	3	0,5	3,8	5,1	0,59	0,77	3,00	6,27	7,45	0,58	0,76	6	4,6	107	8468
	4	1,2	4,1	5,3	0,41	0,64	3,60	6,34	7,35	0,50	0,70	5	4,1	107	5629
	5	2	4,2	5,1	0,39	0,63	3,90	6,18	7,55	0,50	0,70	4	3,1	107	3753
	6	0,5	4,1	5,8	0,89	0,94	1,40	5,78	7,30	1,01	1,01	6	5,3	106	2491
	7	1	4,1	5,9	0,82	0,90	2,45	5,44	6,80	0,73	0,85	5	4,9	105	1659
	8	0,5	4,0	5,3	0,94	0,97	2,20	5,07	6,50	0,74	0,86	6	4,8	108	1151
	9	1,3	4,0	5,7	0,59	0,77	2,95	4,93	6,20	0,36	0,60	5	4,4	107	770
	10	1,4	4,1	5,6	0,73	0,85	2,65	4,86	5,90	0,39	0,63	5	4,2	105	512
	11	0,5	3,9	5,4	1,12	1,06	1,50	4,58	6,00	0,65	0,81	6	4,9	106	350
	12	0,5	3,8	5,9	1,12	1,06	1,30	4,39	5,55	0,57	0,76	6	5,4	104	233
16	1	1,5	3,9	6,2	0,95	0,98	4,00	8,15	10,65	1,68	1,30	6	4,7	103	19074
	2	1,3	4,7	6,4	0,78	0,88	3,80	8,78	10,80	1,06	1,03	6	5,1	105	12626
	3	1	5,3	7,0	1,23	1,11	2,90	9,07	11,15	1,71	1,31	7	6,0	107	8468
	4	1,7	6,1	7,9	0,72	0,85	5,00	9,84	11,20	0,78	0,88	7	6,2	107	5629
	5	3,7	6,6	7,9	0,53	0,73	7,50	9,99	11,50	0,68	0,83	5	4,2	107	3753
	6	1,6	6,8	8,4	1,11	1,05	4,10	9,73	11,50	1,36	1,17	8	6,8	106	2491
	7	4,0	7,1	8,4	0,84	0,92	5,50	9,35	11,00	1,00	1,00	5	4,4	105	1659
	8	3,4	7,1	9,0	1,04	1,02	5,20	8,81	10,60	0,98	0,99	7	5,6	108	1151
	9	4,2	7,3	8,9	0,69	0,83	5,90	8,36	10,00	0,62	0,79	5	4,7	107	770
	10	3,4	7,4	9,7	0,85	0,92	4,70	8,11	9,50	0,58	0,76	7	6,3	105	512
	11	3,0	7,2	9,2	1,41	1,19	4,00	7,60	9,30	0,95	0,97	7	6,2	106	350
	12	3,0	7,0	9,0	1,28	1,13	3,50	7,20	9,10	0,99	1,00	7	6,0	104	233

Continua...

Cont., Tabela 2

Idade (meses)	Esp	DAP mín	DAP méd	DAP máx	S ²	S	Ht mín	Ht méd	Ht máx	S ²	S	Nº classes	Amp	NºL.área ⁻¹	NºL.ha ⁻¹
20	1	1,5	4,0	7,7	1,32	1,15	4,30	9,03	12,10	3,22	1,79	7	6,2	103	19074
	2	1,3	5,2	7,4	1,44	1,20	3,70	10,35	13,50	2,47	1,57	7	6,1	105	12626
	3	1,0	5,8	7,8	1,84	1,36	2,90	10,90	13,00	3,22	1,79	7	6,8	105	8310
	4	1,9	6,9	8,9	1,07	1,03	4,70	11,82	13,70	1,36	1,17	8	7,0	107	5629
	5	3,8	7,6	9,1	0,77	0,88	8,70	12,26	14,00	0,66	0,81	7	5,3	107	3753
	6	2,0	8,1	9,6	1,52	1,23	4,55	12,28	14,00	1,88	1,37	8	7,6	106	2491
	7	5,0	8,6	10,0	1,02	1,01	9,05	12,27	14,20	0,87	0,93	7	5,0	105	1659
	8	4,5	8,9	10,7	1,22	1,11	8,00	11,74	13,80	1,18	1,09	7	6,2	108	1151
	9	6,3	9,1	10,9	0,72	0,85	8,00	11,04	13,20	0,89	0,94	5	4,6	107	770
	10	4,5	9,3	11,0	0,96	0,98	7,12	10,55	12,50	0,84	0,92	8	6,5	105	512
	11	5,0	9,1	11,4	1,54	1,24	6,75	9,84	12,00	0,98	0,99	7	6,4	106	350
	12	4,3	8,8	11,0	1,57	1,25	5,00	9,02	10,95	0,97	0,99	8	6,7	104	233
24	1	1,5	4,3	8,1	1,70	1,30	4,30	9,57	12,90	4,46	2,11	8	6,6	98	18148
	2	1,3	5,6	8,4	1,85	1,36	3,70	11,02	13,50	3,01	1,73	8	7,1	103	12386
	3	1,1	6,3	8,4	2,31	1,52	3,05	11,65	14,00	4,14	2,04	8	7,3	107	8468
	4	1,9	7,5	9,5	1,33	1,16	4,70	12,75	14,60	1,70	1,30	9	7,6	107	5629
	5	4	8,4	10,1	0,93	0,96	8,90	13,29	15,50	0,89	0,94	7	6,1	106	3718
	6	2,5	8,9	10,4	1,65	1,28	4,70	13,40	15,68	2,13	1,46	9	7,9	106	2491
	7	6,0	9,6	11,7	1,20	1,10	10,25	13,50	15,68	0,98	0,99	6	5,7	105	1659
	8	5,3	9,9	11,9	1,41	1,19	9,25	12,98	15,35	1,37	1,17	7	6,6	108	1151
	9	7,9	10,2	12,3	0,78	0,89	8,20	12,20	14,40	1,07	1,03	6	4,4	107	770
	10	6,0	10,3	12,5	0,96	0,98	8,90	11,49	13,80	0,91	0,96	7	6,5	105	512
	11	5,9	10,1	13,0	1,60	1,26	7,40	10,50	12,70	1,24	1,11	9	7,1	106	350
	12	5,2	9,9	12,0	1,70	1,30	5,70	9,53	12,10	1,11	1,05	8	6,8	104	233
28	1	1,5	4,7	9,8	2,49	1,58	4,55	10,20	14,50	5,25	2,29	9	8,3	96	17778
	2	2,5	6,2	10,1	2,96	1,72	6,00	12,19	16,70	5,02	2,24	9	7,6	102	12266
	3	1,6	7,1	9,7	3,44	1,85	4,40	13,08	16,80	6,09	2,47	9	8,1	106	8389
	4	1,9	8,6	11,1	1,91	1,38	4,70	14,60	17,00	2,51	1,58	11	9,2	107	5629
	5	4,2	9,5	12,3	1,78	1,34	9,50	15,12	17,20	1,49	1,22	9	8,1	106	3718
	6	2,6	10,2	12,6	2,58	1,61	5,00	15,16	17,40	2,78	1,67	11	10,0	106	2491
	7	7,3	11,0	13,8	1,41	1,19	11,40	15,28	17,50	1,14	1,07	7	6,5	105	1659
	8	6,5	11,4	13,5	1,45	1,20	11,00	14,94	16,70	1,10	1,05	8	7,0	108	1151
	9	8,9	11,9	13,7	0,99	1,00	10,90	14,47	17,80	1,26	1,12	6	4,8	107	770
	10	7,6	12,4	14,7	1,23	1,11	11,00	13,82	16,60	1,16	1,08	8	7,1	105	512
	11	7,6	12,4	15,6	1,78	1,33	8,70	12,79	15,60	1,19	1,09	9	8,0	106	350
	12	7,6	12,3	15,3	2,44	1,56	7,80	11,64	14,40	0,87	0,94	9	7,7	104	233
32	1	1,7	5,1	10,3	2,42	1,56	5,35	11,25	16,00	4,24	2,06	10	8,6	75	13889
	2	3,2	6,7	10,3	2,63	1,62	7,00	13,05	17,00	4,62	2,15	8	7,1	91	10943
	3	1,6	7,4	10,3	3,31	1,82	4,40	14,01	16,80	5,96	2,44	10	8,7	101	7993
	4	1,9	8,9	11,2	2,44	1,56	4,70	15,33	17,40	3,47	1,86	11	9,3	107	5629
	5	4,3	9,9	12,3	1,66	1,29	9,60	16,02	17,30	1,58	1,26	9	8,0	106	3718
	6	2,7	10,5	12,7	2,44	1,56	0,50	15,85	17,60	5,04	2,25	11	10,0	106	2491
	7	7,4	11,4	13,8	1,60	1,26	12,70	16,10	17,60	1,05	1,03	7	6,4	105	1659
	8	7,0	11,8	14,2	1,59	1,26	11,50	15,70	17,90	1,32	1,15	9	7,2	108	1151
	9	9,3	12,3	14,2	0,94	0,97	11,60	15,28	17,30	1,06	1,03	6	4,9	107	770
	10	8,5	13,0	15,3	1,23	1,11	11,60	14,64	16,80	1,11	1,05	8	6,8	105	512
	11	8,6	13,2	16,4	1,88	1,37	10,80	13,76	16,30	1,25	1,12	9	7,8	106	350
	12	8,2	13,2	16,0	2,14	1,46	8,20	12,74	15,00	1,15	1,07	9	7,8	104	233

Continua...

Cont., Tabela 2

Idade (meses)	Esp	DAP mín	DAP méd	DAP máx	S ²	S	Ht mín	Ht méd	Ht máx	S ²	S	Nº classes	Amp	NºI.área ⁻¹	NºI.ha ⁻¹
36	1	2,2	5,3	10,8	3,01	1,74	5,35	11,39	16,60	4,88	2,21	9	8,6	73	13519
	2	3,2	7,0	10,8	3,34	1,83	1,20	13,26	17,20	6,80	2,61	8	7,6	91	10943
	3	2,7	8,0	11,0	3,10	1,76	5,30	14,55	17,20	4,58	2,14	10	8,3	98	7756
	4	1,9	9,3	12,3	2,83	1,68	5,00	15,68	17,50	3,61	1,90	12	10,4	107	5629
	5	4,4	10,4	13,2	1,80	1,34	9,80	16,40	17,50	1,54	1,24	10	8,8	106	3718
	6	2,7	11,1	13,0	2,79	1,67	5,60	16,29	17,60	2,57	1,60	12	10,3	106	2491
	7	8,1	11,9	13,8	1,42	1,19	13,60	16,42	17,70	0,83	0,91	6	5,7	105	1659
	8	7,5	12,4	14,9	1,65	1,28	12,80	16,07	17,90	1,06	1,03	8	7,4	108	1151
	9	9,8	13,1	15,4	0,94	0,97	12,30	15,66	17,40	0,91	0,95	7	5,6	107	770
	10	9,1	13,8	16,3	1,33	1,15	11,50	15,01	17,40	1,18	1,09	8	7,2	105	512
	11	9,6	14,1	17,0	1,59	1,26	11,80	14,14	16,50	1,14	1,07	8	7,4	106	350
	12	8,2	14,1	16,5	2,34	1,53	8,20	13,14	15,60	1,31	1,15	9	8,3	104	233

Em que: Esp= espaçamento; Amp= amplitude dos dados; NºI= número de indivíduos.

5.2 Ajuste da função de densidade e probabilidade

Os parâmetros encontrados resultantes dos ajustes das FDP para cada espaçamento e idade encontram-se no ANEXO I, bem como as estatísticas de precisão RQEM (%), correlação $ry\hat{y}$ e as pontuações atribuídas aos modelos resultantes do Dcal do teste de aderência de K-S.

Verificou-se que das 480 análises, 425 não foram significativas pelo teste K-S a 95% de probabilidade, representado 88,54% dos ajustes, e 4 não foram possíveis de serem ajustadas pela FDP Sb de Johnson, pois esta função possui maior dificuldade em convergir para um resultado quando o número de classes é igual ou menor ao número de parâmetros, conforme descrito por Schmidt (2017).

A FDP Weibull 3p foi a única função que teve todos os ajustes não significativos pelo teste K-S, seguido da função Dagun (89,69%), Normal (88,65%), Sb de Jonhson (87,5%) e Gama (77,08%). Os ajustes que foram significativos ocorreram predominantemente no primeiro ano de medição, nas idades de 8 e 12 meses.

A função Weibull, tanto com 2, como com 3 parâmetros, tem apresentado bons ajustes no meio florestal com a cultura de eucalipto, por apresentar um ajuste simples e flexível em dados de diâmetro de vários povoamentos. Schmidt (2017) testou as funções Gama, Beta, Normal, Log-normal, Sb de Johnson e Weibull 3p para diâmetros do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para parcelas de diferentes espaçamentos, idades e sítio, e verificou que a função de Weibull 3p obteve melhor desempenho. Moraes Neto et al. (2014) ao testar funções Log-normal, Weibull 3p, Gamma e Normal para o mesmo híbrido em dois arranjos dos indivíduos e nas idades de 30 e 54 meses, obteve as distribuições de Weibull aderentes aos dados na maioria dos tratamentos presentes. Binoti

et al. (2014) que compararam o desempenho da FDP Nakagami com a Weibull 3p e concluíram que a função Weibull 3p apresentou superioridade na descrição da distribuição diamétrica dos povoamentos estudados.

Outras funções de densidade de probabilidade tem se mostrado eficientes nas estimativas das estruturas diâmetros de povoamentos de *Eucalyptus* sp., conforme visto no presente trabalho e em outros estudos, como Ferreira (2011) que analisou o desempenho das funções Gamma, Beta, Weibull 3p, Normal, Log-normal e Sb de Jonsohn na análise da distribuição diamétrica de 15 clones de *Eucalyptus* sp. e da espécie *Pinus elliottii*, sendo verificado que a distribuição Sb de Jonsohn se mostrou indicada para essas espécies.

Schröder et al. (2016) ajustaram FDP's Normal, Log-Normal, Gama e Weibull2p em plantios de *Eucalyptus dunnii* em 4 espaçamentos (0,87 m x 1,75 m; 1,75 m x 1,75 m; 1,75 m x 3,5 m e 3,5 m x 3,5 m) aos 4 anos de idades, verificaram que a função que melhor descreve a distribuição diamétrica foi a Log-Normal em todos os espaçamentos.

Jesus et al. (2017) testaram as FDP's Gamma, Beta, Weibull 3p, Normal, Log-Normal, e Dagum para descrever a estrutura diamétrica em povoamento de um plantio clonal de híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em Brasília, e obtiveram melhores resultados para as funções Beta, Weibull 3p e Dagum.

A escolha da melhor função para cada tratamento, foi resultante da menor pontuação somada para as 8 idades, resultando na FDP de Sb de Jonhson para os espaçamentos 9, Dagum para os espaçamentos 7 e 11 e Weibull 3p para os demais espaçamentos.

A Tabela 3 apresenta as FDP's selecionadas e suas respectivas estatísticas de precisão. Verificou-se, para os espaçamentos 1, 2, e 3, houve uma diminuição da precisão dos ajustes com o aumento das idades dos indivíduos. Já para outros espaçamentos não foi observado nenhuma alteração da precisão dos ajustes entre as idades de cada densidade de plantio.

Analisando os ajustes dos espaçamentos mais adensados (1, 2 e 3), infere-se que, esse fato pode ser resultante da alta mortalidade encontrada nestes espaçamentos e do aumento do número de classes, que em conjunto, altera a forma da distribuição diamétrica.

Tabela 3. Parâmetros e estatísticas de precisão das funções de densidade probabilidade selecionadas para cada espaçamento e idade.

Esp./FDP	Idade	K	α	β	γ	δ	ϑ	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$
1/Weibull 3p	8	-	1,000	2,095	4,960	-	-	5,75	0,99
	12	-	0,477	2,904	4,572	-	-	5,23	0,98
	16	-	1,000	3,355	2,919	-	-	5,28	0,98
	20	-	1,001	3,473	2,943	-	-	3,61	0,98
	24	-	1,220	3,544	2,889	-	-	5,30	0,97
	28	-	1,234	3,860	2,878	-	-	24,97	0,90
	32	-	1,498	3,863	2,806	-	-	15,94	0,81
	36	-	2,103	3,588	2,233	-	-	13,69	0,82
2/Weibull 3p	8	-	1,000	2,095	4,960	-	-	5,75	0,99
	12	-	1,249	2,605	4,958	-	-	9,74	0,98
	16	-	1,229	3,888	4,832	-	-	2,27	0,99
	20	-	1,356	4,372	3,934	-	-	6,59	0,97
	24	-	1,000	5,193	3,956	-	-	3,08	0,99
	28	-	2,207	4,685	2,405	-	-	8,93	0,86
	32	-	3,002	4,710	2,302	-	-	16,19	0,85
	36	-	3,129	4,865	2,204	-	-	15,03	0,78
3/Weibull 3p	8	-	0,227	3,031	4,628	-	-	6,86	0,97
	12	-	0,500	3,725	4,460	-	-	11,59	0,94
	16	-	1,458	4,293	4,469	-	-	9,17	0,96
	20	-	1,461	4,957	4,404	-	-	9,16	0,95
	24	-	1,493	5,631	4,291	-	-	12,24	0,92
	28	-	1,462	6,388	3,769	-	-	11,16	0,92
	32	-	1,483	6,926	4,028	-	-	11,87	0,86
	36	-	2,177	6,579	3,688	-	-	9,72	0,92
4/Weibull 3p	8	-	0,000	3,321	5,487	-	-	4,98	0,99
	12	-	1,007	3,487	6,338	-	-	3,14	0,99
	16	-	1,268	5,249	8,015	-	-	5,71	0,99
	20	-	1,344	6,005	8,034	-	-	7,95	0,97
	24	-	8,2935	6,6160	1,4521	-	-	5,93	0,99
	28	-	1,450	7,618	8,337	-	-	14,20	0,95
	32	-	1,484	7,685	8,365	-	-	21,61	0,91
	36	-	1,423	8,616	6,675	-	-	9,11	0,97
5/Weibull 3p	8	-	1,103	2,166	3,004	-	-	13,07	0,77
	12	-	2,415	2,096	3,531	-	-	7,97	0,96
	16	-	3,349	3,653	5,477	-	-	6,04	0,98
	20	-	3,280	4,946	5,578	-	-	14,99	0,95
	24	-	4,157	4,752	5,635	-	-	9,98	0,94
	28	-	4,184	6,000	5,733	-	-	7,21	0,98
	32	-	4,270	6,781	4,270	-	-	23,75	0,86
	36	-	4,270	6,781	4,270	-	-	23,75	0,86
6/Weibull 3p	8	-	0,500	2,574	3,709	-	-	7,64	0,96
	12	-	0,494	4,060	5,099	-	-	5,88	0,98
	16	-	1,350	5,927	8,483	-	-	8,28	0,99
	20	-	2,494	6,233	7,420	-	-	9,05	0,97
	24	-	2,440	7,118	7,833	-	-	7,92	0,98
	28	-	2,485	8,533	7,891	-	-	10,37	0,96
	32	-	2,408	8,665	8,962	-	-	8,25	0,99
	36	-	2,469	9,447	8,942	-	-	60,87	0,51

Continua...

Cont. Tabela 3

Esp./FDP	Idade	K	α	β	γ	δ	ε	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$
7/Dagum	8	0,163	24,083	3,452	-	-	-	10,70	0,99
	12	0,249	18,022	4,954	-	-	-	6,49	0,98
	16	0,297	29,956	7,893	-	-	-	8,58	0,97
	20	0,250	43,748	10,571	-	-	-	5,42	0,99
	24	0,230	36,280	10,743	-	-	-	5,23	0,98
	28	0,314	30,248	12,076	-	-	-	3,91	0,98
	32	0,189	43,139	12,771	-	-	-	4,73	0,98
	36	0,255	42,136	12,998	-	-	-	4,64	0,98
8/Weibull 3p	8	-	0,148	2,651	2,942	-	-	7,66	0,93
	12	-	0,491	3,918	4,116	-	-	9,65	0,96
	16	-	3,489	4,175	4,269	-	-	5,27	0,99
	20	-	4,496	4,924	5,521	-	-	10,71	0,94
	24	-	5,051	5,357	5,520	-	-	6,83	0,97
	28	-	6,133	5,822	5,624	-	-	4,52	0,99
	32	-	6,309	5,942	5,672	-	-	7,21	0,98
	36	-	7,000	5,969	5,768	-	-	6,17	0,99
9/SB Johnson	8	-	11,421	-	-3,726	2,463	-6,915	2,41	0,99
	12	-	24,385	-	-6,492	3,739	-16,586	0,83	0,99
	16	-	15,485	-	-4,291	2,626	-5,449	2,18	0,99
	20	-	7,996	-	-2,017	1,567	3,048	5,59	0,98
	24	-	307,517	-	-19,682	4,648	-292,860	2,03	0,99
	28	-	14,735	-	-3,244	2,229	0,221	2,32	0,99
	32	-	10,913	-	-2,129	2,163	4,569	1,11	0,99
	36	-	149,745	-	-36,219	22,479	-111,601	3,82	0,99
10/Weibull 3p	8	-	0,497	2,148	2,982	-	-	7,39	0,95
	12	-	1,168	3,237	3,890	-	-	8,98	0,93
	16	-	3,308	4,667	5,460	-	-	5,06	0,99
	20	-	4,099	5,862	5,480	-	-	11,84	0,96
	24	-	6,080	4,874	5,505	-	-	5,25	0,99
	28	-	7,400	5,521	5,574	-	-	2,41	0,99
	32	-	8,031	5,678	4,762	-	-	10,08	0,98
	36	-	9,387	5,008	4,379	-	-	3,02	0,99
11/Dagum	8	0,220	8,834	3,115	-	-	-	6,64	0,99
	12	0,147	26,232	5,127	-	-	-	7,94	0,99
	16	0,087	59,088	8,699	-	-	-	11,27	0,94
	20	0,281	27,971	10,186	-	-	-	6,47	0,97
	24	0,297	27,135	11,277	-	-	-	2,32	0,99
	28	0,393	26,316	13,431	-	-	-	1,78	0,99
	32	0,442	24,758	14,108	-	-	-	2,08	0,99
	36	0,420	30,677	14,932	-	-	-	2,97	0,99
12/Weibull 3p	8	-	0,000	2,463	3,128	-	-	9,13	0,90
	12	-	0,500	3,726	3,691	-	-	8,92	0,94
	16	-	3,451	4,273	3,924	-	-	8,35	0,95
	20	-	4,491	4,909	4,313	-	-	10,00	0,94
	24	-	5,465	4,978	4,324	-	-	7,24	0,96
	28	-	7,021	5,940	3,846	-	-	8,00	0,94
	32	-	8,015	5,880	4,138	-	-	5,75	0,98
	36	-	8,213	6,715	8,213	-	-	16,15	0,99

Em que: Esp. = espaçamento; FDP= função de densidade e probabilidae; K, α , β , γ , δ e ε = parâmetros das funções de densidade de probabilidade; RQEM (%)=raiz quadrada do erro médio; $r_{y\hat{y}_i}$ = correlação.

5.3 Análise da estrutura diamétrica

As Figura 4 a Figura 14 ilustram as curvas de distribuição diamétrica estimada pelas funções de melhor desempenho para cada espaçamento dos povoamentos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses. Para melhor visualização, as curvas de distribuição diamétricas anuais (12º, 24º e 36º mês) foram apresentadas na forma de linhas contínuas e as idades intermediárias, em linhas pontilhadas.

Em todos os espaçamentos, observou-se um aumento da amplitude total dos diâmetros e do número de classes conforme o aumento da idade do povoamento, resultando em um “alargamento” das curvas de distribuição diamétrica e o deslocamento das curvas para a direita, indicando crescimento de todos os indivíduos presentes no delineamento experimental. Entretanto, nota-se esse deslocamento das curvas mais acelerado nos espaçamentos 10, 11 e 12, mostrando um maior ritmo de crescimento nos maiores espaçamentos.

Espera-se que as curvas téóricas da distribuição diamétrica reduzam seu ponto de máxima probabilidade (classe de DAP com maior número de indivíduos) com o aumento da idade em cada espaçamento, pois ocorre o aumento do número de classes, reduzindo assim o número de indivíduos encontrado na classe modal. Até a idade de 36 meses, os espaçamentos mais adensados 1, 2 e 3 confirmam o esperado de haver um “achatamento” das curvas. Batista et al. (2014) explicam que a estagnação do crescimento do diâmetro se deve a competição extrema, ratificado por outras observações como a mortalidade.

Nogueira et al. (2006) descrevem que a estagnação do crescimento é diretamente proporcional à taxa de crescimento das árvores. Quanto maior essa taxa, mais cedo as árvores do povoamento iniciam e posteriormente intensificam o processo de competição resultando na imediata estagnação do crescimento em diâmetro.

Outro ponto a ser observado quanto ao efeito da estagnação, é que a mudança de classes dado pelo crescimento dos indivíduos diminua a cada medição, porém este evento é mais acentuado nas classes inferiores (de menores DAP), do que nas classes superiores, ou de maiores DAP. Isto deve-se ao fato de que o esforço fisiológico da planta em crescer 1 cm de diâmetro é menor em indivíduos mais finos do que os de maiores diâmetros.

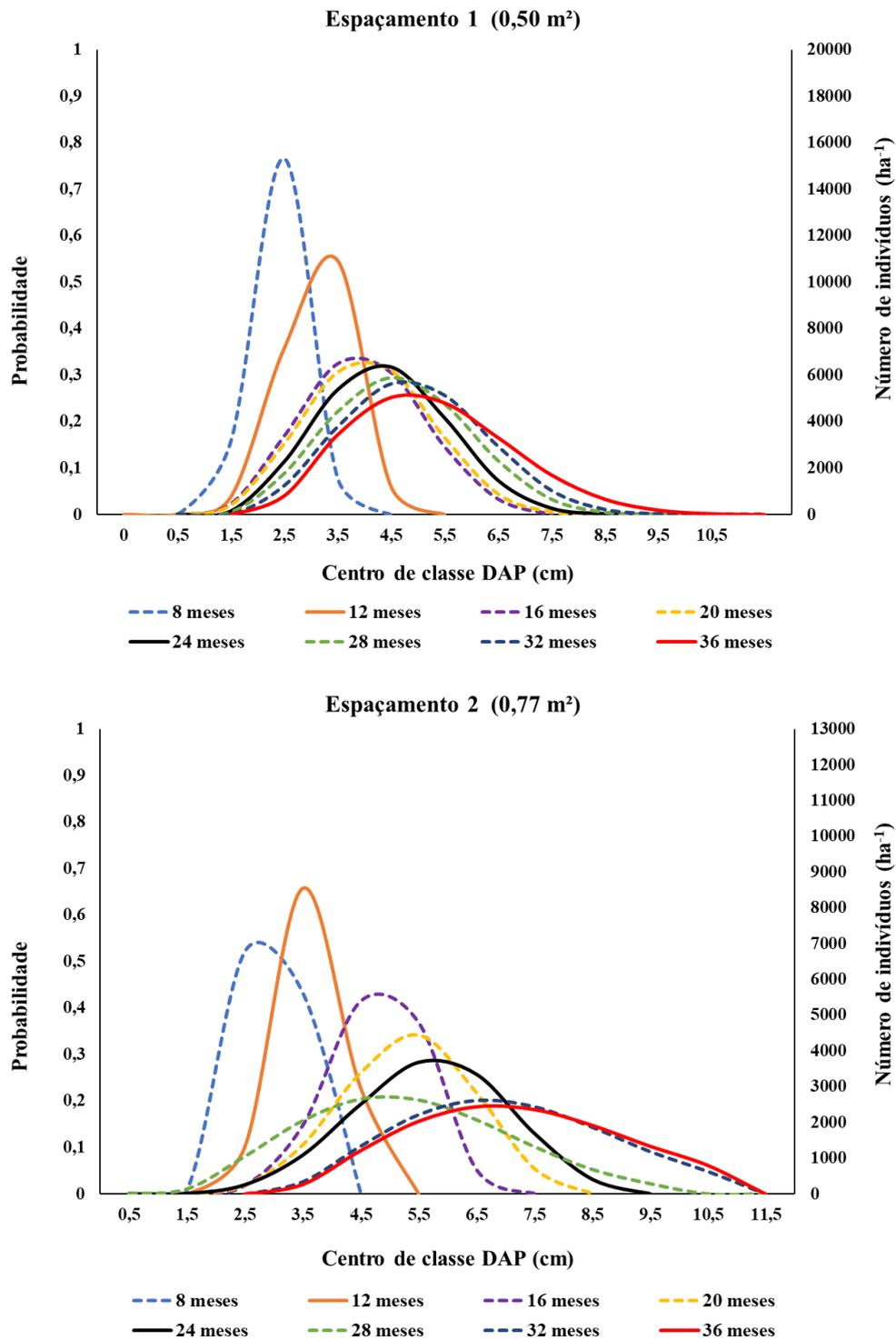


Figura 4. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 1(0,50 m²) e 2 (0,77 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

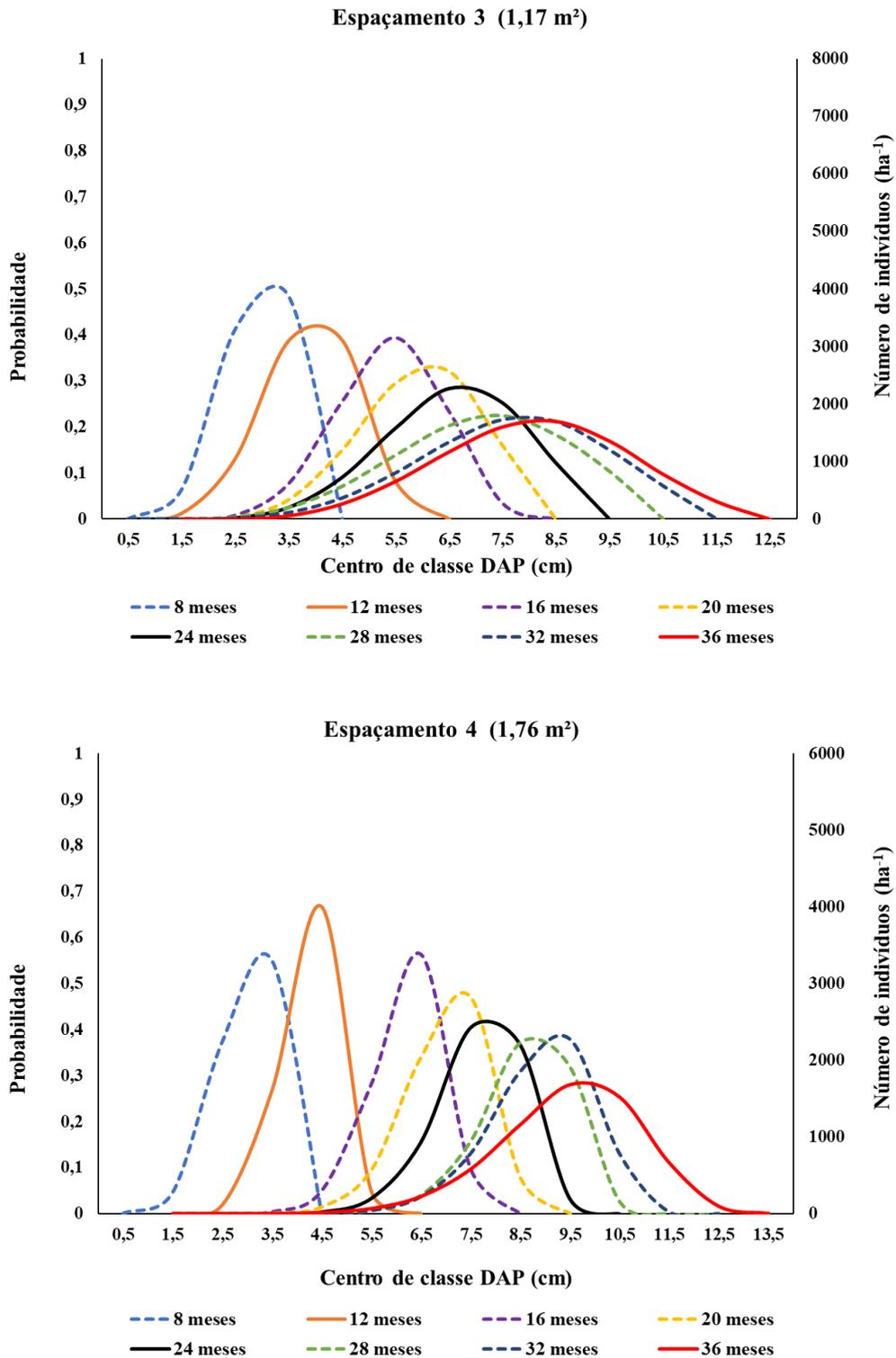


Figura 5. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 3 (1,17 m²) e 4 (1,76 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

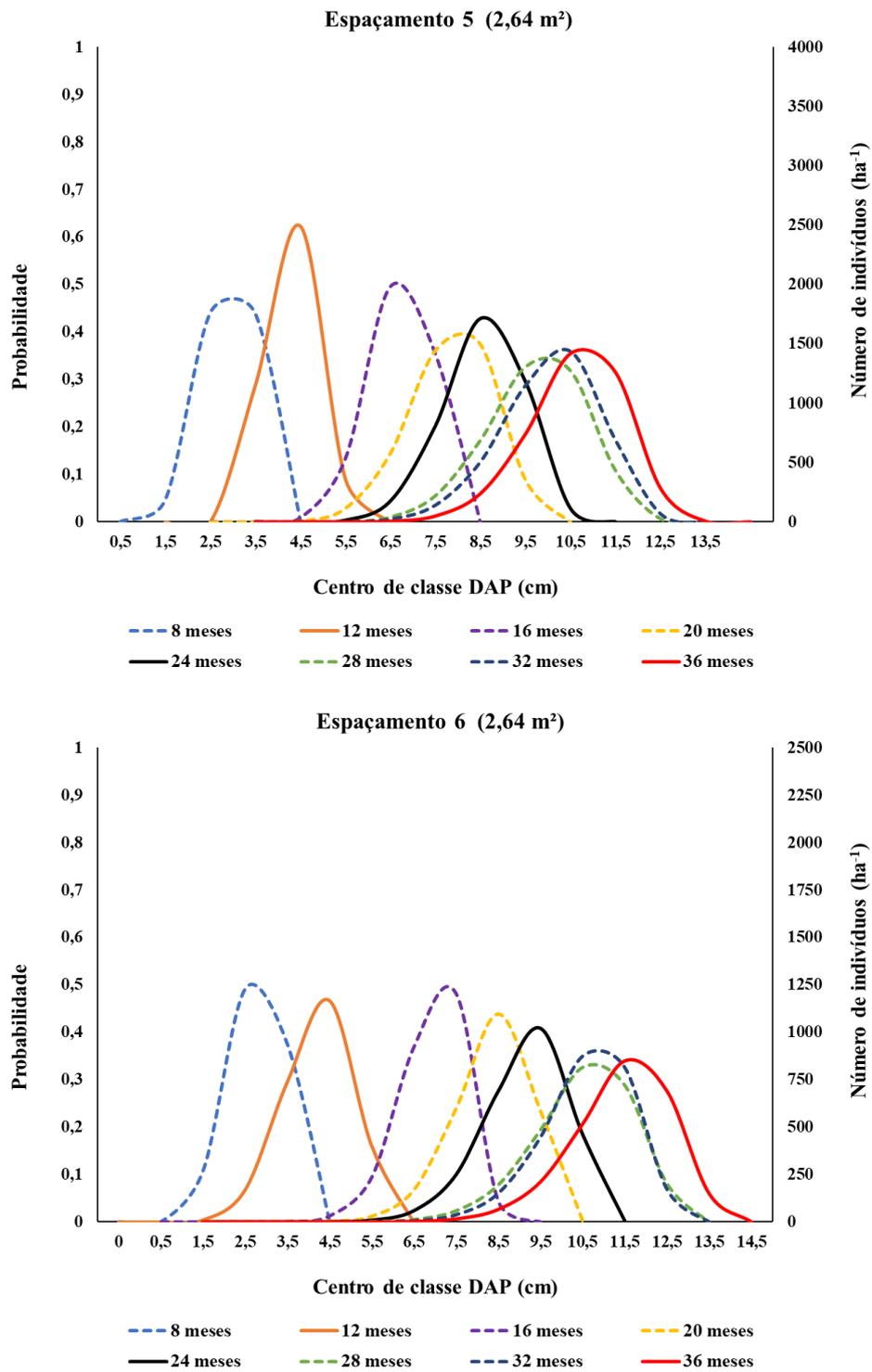


Figura 6. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 5 (2,64 m²) e 6 (3,94 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

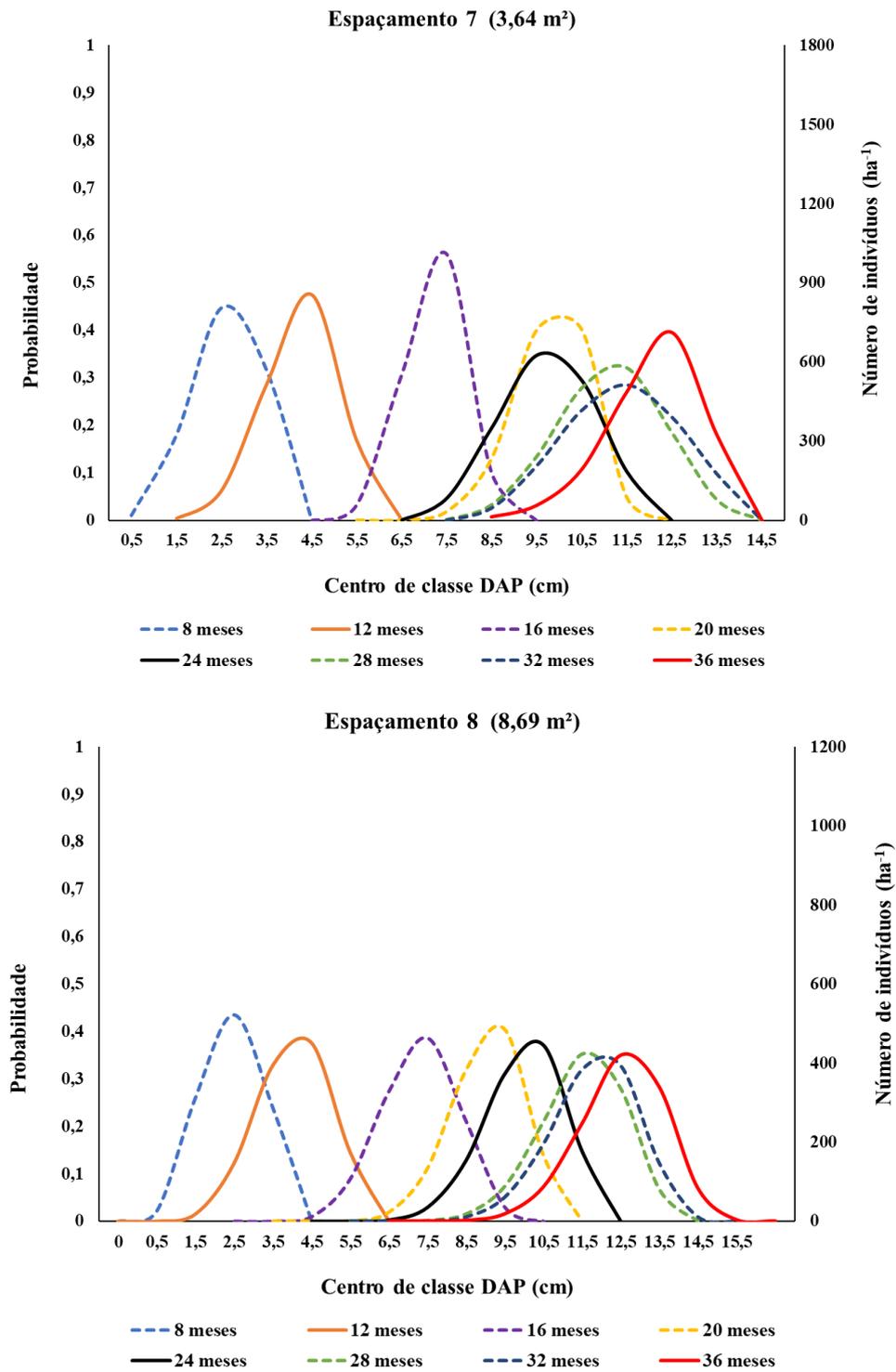


Figura 7. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 7 (5,86 m²) e 8 (8,69 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

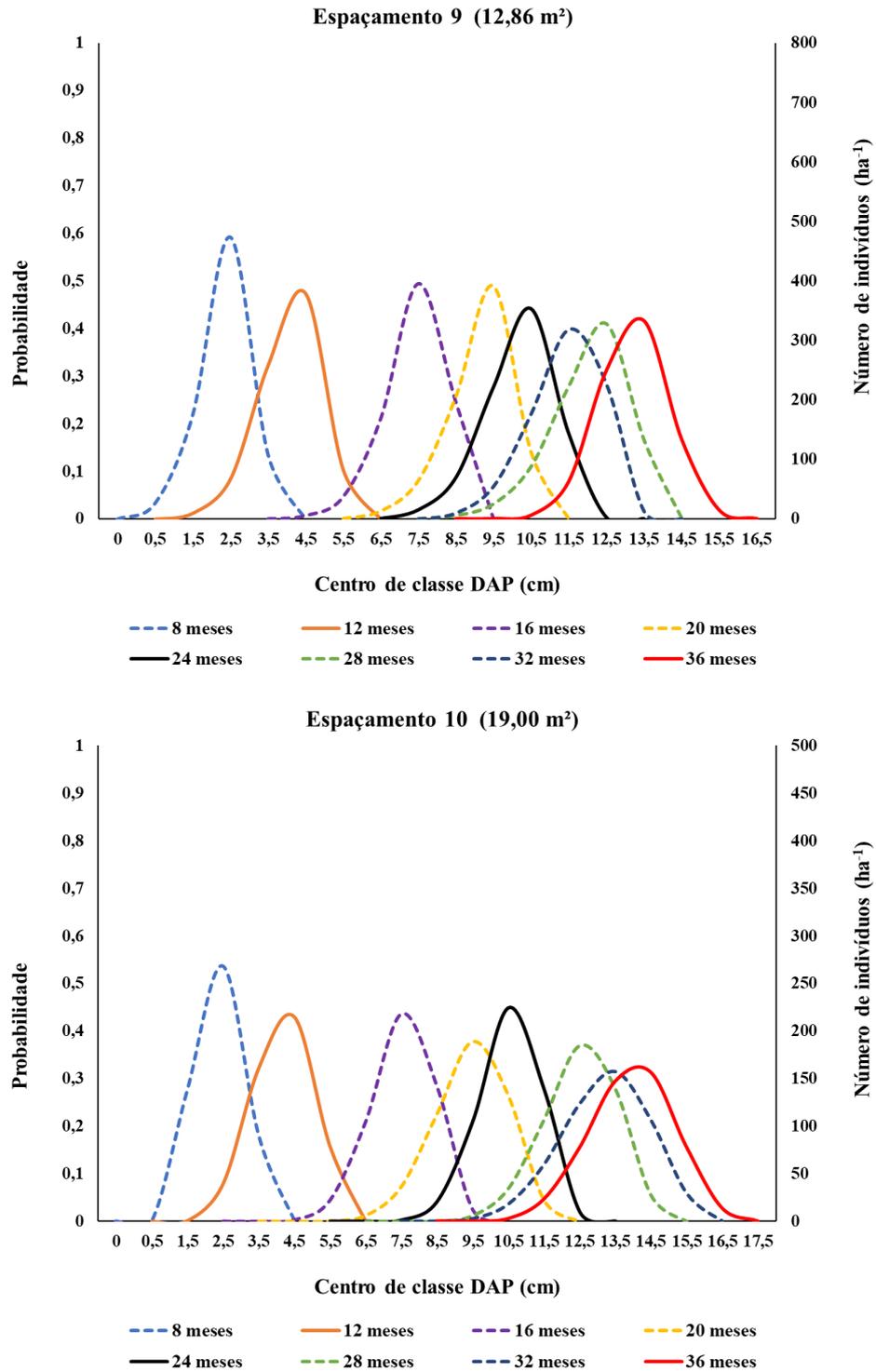


Figura 8. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 9 (12,86 m²) e 10 (19 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

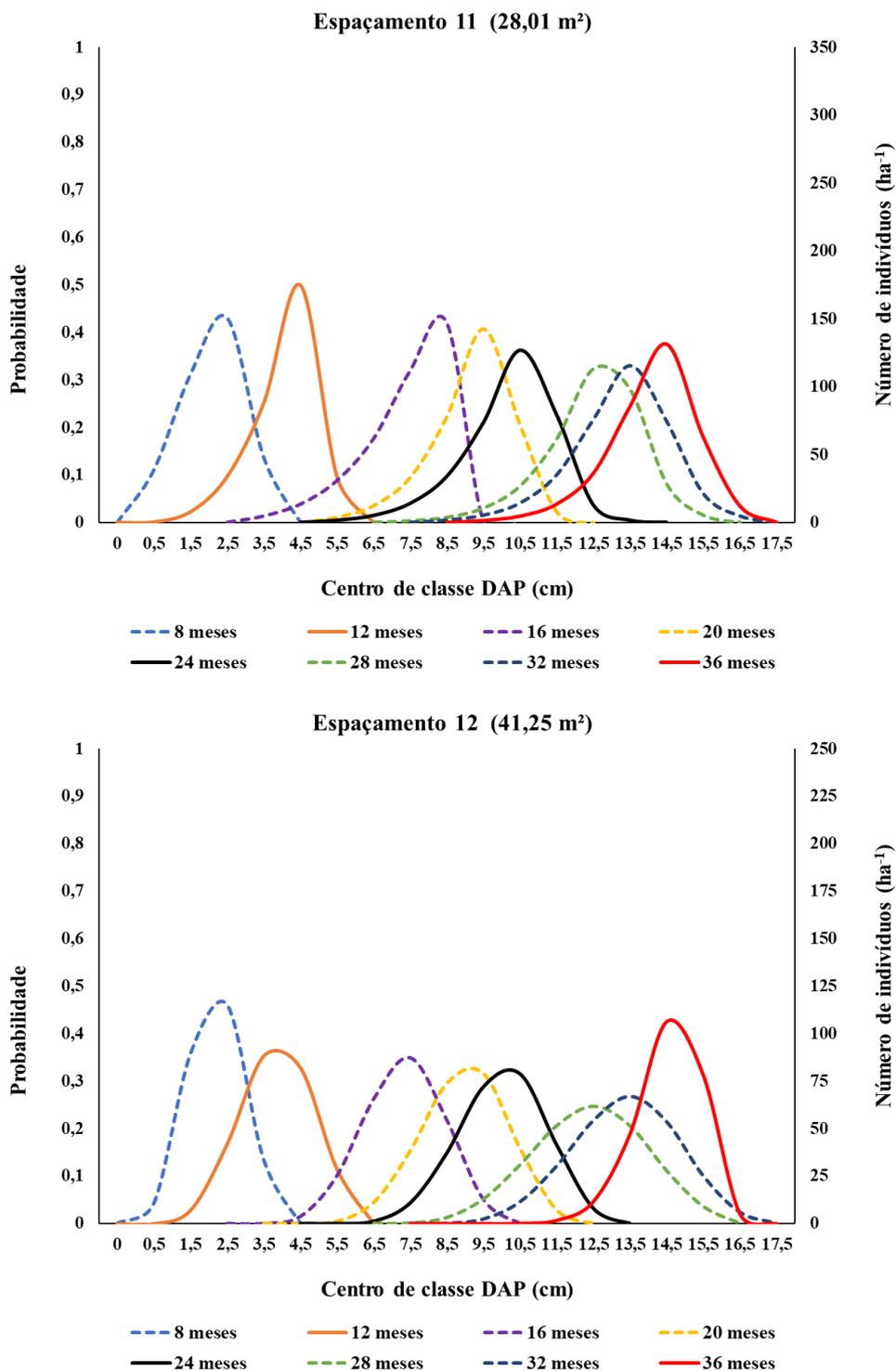


Figura 9. Dinâmica da distribuição diamétrica observada nos espaçamentos 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 8 a 36 meses.

Em relação à curtose, analisando todas as curvas de cada idade em todos os espaçamentos (Tabela 4), verificou-se que houve predominância na classificação das curvas como platicúrticas nos espaçamentos 2, 3, 5, 6, 8 e 12. Tal comportamento também

foi encontrado por Moraes Neto et al. (2014) trabalhando com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no arranjo de plantio 4 x 10 m aos 30 e 54 meses de idade. Para o espaçamento 9 a predominância foi de curvas leptocúrticas, também encontrado nos achados de Schmidt (2017), trabalhando com o mesmo híbrido nas idades de 3 ao 8 anos. Já para os espaçamentos 1, 4, 7, 10 e 11, não houve predominância na forma das curvas.

Quanto a assimetria das curvas de distribuição diamétrica, os espaçamentos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 tiveram suas curvas predominantemente assimétricas negativas ou a esquerda. Sanquetta et al., (2014) chegaram aos mesmos resultados estudando a distribuição diamétrica de plantios de acácia negra no Estado do Rio Grande do Sul nas idades 12, 36, 60 e 84 meses. Já, os espaçamentos 1 e 2 predominaram curvas com assimetria positiva. Ferreira (2011) estudando *Eucalyptus* sp. aos 60 meses no espaçamento 3 x 2 m encontrou esta mesma classificação ao caracterizar a forma das curvas de distribuição diamétrica.

Os espaçamentos 1 e 2 tiveram as curvas de distribuição diamétrica na última medição (36º mês) classificadas como platicúrticas com assimetria positiva ou a direita, reforçam a hipótese de que os povoamentos estão em fase de estagnação do crescimento diamétrico.

Tabela 4. Grau de Assimetria, intensidade, curtose e forma das curvas de distribuição diamétrica em cada espaçamento e idade.

Espaçamento	Idade	Assimetria	Intensidade	Forma	Curtose	Forma
1	8	-0,1692	Moderada	Negativa	0,2451	Leptocurtica
	12	-0,7694	Moderada	Negativa	0,3016	Platicurtica
	16	0,0845	Fraca	Positiva	0,2574	Leptocurtica
	20	0,0666	Fraca	Positiva	0,2406	Leptocurtica
	24	0,0748	Fraca	Positiva	0,278	Platicurtica
	28	0,1073	Fraca	Positiva	0,2746	Platicurtica
	32	0,1299	Fraca	Positiva	0,2609	Leptocurtica
	36	0,2384	Moderada	Positiva	0,2652	Platicurtica
2	8	0,201	Moderada	Positiva	0,3102	Platicurtica
	12	0,1678	Moderada	Positiva	0,3056	Platicurtica
	16	-0,0642	Fraca	Negativa	0,2724	Platicurtica
	20	-0,0959	Fraca	Negativa	0,2689	Platicurtica
	24	-0,0575	Fraca	Negativa	0,2717	Platicurtica
	28	0,1586	Moderada	Positiva	0,2717	Platicurtica
	32	0,1295	Fraca	Positiva	0,2736	Platicurtica
	36	0,1011	Fraca	Positiva	0,2779	Platicurtica

Continua...

Cont., Tabela 4

Espaçamento	Idade	Assimetria	Intensidade	Forma	Curtose	Forma
3	8	-0,3451	Moderada	Negativa	0,3124	Platicurtica
	12	-0,0923	Fraca	Negativa	0,2823	Platicurtica
	16	-0,1165	Fraca	Negativa	0,2682	Platicurtica
	20	-0,213	Moderada	Negativa	0,2591	Leptocurtica
	24	-0,1675	Moderada	Negativa	0,2831	Platicurtica
	28	-0,1885	Moderada	Negativa	0,2758	Platicurtica
	32	-0,1453	Fraca	Negativa	0,2685	Platicurtica
	36	-0,0827	Fraca	Negativa	0,2672	Platicurtica
4	8	-0,506	Moderada	Negativa	0,3063	Platicurtica
	12	-0,4143	Moderada	Negativa	0,2578	Leptocurtica
	16	-0,3532	Moderada	Negativa	0,2864	Platicurtica
	20	-0,3741	Moderada	Negativa	0,2966	Platicurtica
	24	-0,1983	Moderada	Negativa	0,2624	Leptocurtica
	28	-0,2239	Moderada	Negativa	0,257	Leptocurtica
	32	-0,3305	Moderada	Negativa	0,2562	Leptocurtica
	36	-0,2191	Moderada	Negativa	0,2658	Platicurtica
5	8	-0,1066	Fraca	Negativa	0,3125	Platicurtica
	12	-0,2046	Moderada	Negativa	0,2675	Platicurtica
	16	-0,0371	Fraca	Negativa	0,2666	Platicurtica
	20	-0,1713	Moderada	Negativa	0,2737	Platicurtica
	24	-0,1169	Fraca	Negativa	0,2496	Leptocurtica
	28	-0,1445	Fraca	Negativa	0,2621	Leptocurtica
	32	-0,2506	Moderada	Negativa	0,2526	Leptocurtica
	36	-0,1902	Moderada	Negativa	0,2679	Platicurtica
6	8	0,0129	Fraca	Positiva	0,2919	Platicurtica
	12	-0,2272	Moderada	Negativa	0,2649	Platicurtica
	16	-0,4009	Moderada	Negativa	0,3012	Platicurtica
	20	-0,2683	Moderada	Negativa	0,2534	Leptocurtica
	24	-0,333	Moderada	Negativa	0,256	Leptocurtica
	28	-0,2472	Moderada	Negativa	0,2778	Platicurtica
	32	-0,2468	Moderada	Negativa	0,2657	Platicurtica
	36	-0,2687	Moderada	Negativa	0,2723	Platicurtica
7	8	-0,1682	Moderada	Negativa	0,312	Platicurtica
	12	-0,4547	Moderada	Negativa	0,2856	Platicurtica
	16	-0,4642	Moderada	Negativa	0,2692	Platicurtica
	20	-0,6002	Moderada	Negativa	0,2677	Platicurtica
	24	-0,5623	Moderada	Negativa	0,2618	Leptocurtica
	28	-0,3983	Moderada	Negativa	0,239	Leptocurtica
	32	-0,5518	Moderada	Negativa	0,2608	Leptocurtica
	36	-0,5658	Moderada	Negativa	0,247	Leptocurtica

Continua...

Cont., Tabela 4

Espaçamento	Idade	Assimetria	Intensidade	Forma	Curtose	Forma
8	8	-0,0701	Fraca	Negativa	0,2518	Leptocurtica
	12	-0,1682	Moderada	Negativa	0,2649	Platicurtica
	16	-0,1216	Fraca	Negativa	0,2676	Platicurtica
	20	-0,2601	Moderada	Negativa	0,2649	Platicurtica
	24	-0,263	Moderada	Negativa	0,2583	Leptocurtica
	28	-0,1631	Moderada	Negativa	0,2795	Platicurtica
	32	-0,1714	Moderada	Negativa	0,2578	Leptocurtica
	36	-0,1571	Moderada	Negativa	0,3141	Platicurtica
9	8	-0,2356	Moderada	Negativa	0,2135	Leptocurtica
	12	-0,3344	Moderada	Negativa	0,3008	Platicurtica
	16	-0,2134	Moderada	Negativa	0,2145	Leptocurtica
	20	-0,3867	Moderada	Negativa	0,2623	Leptocurtica
	24	-0,2941	Moderada	Negativa	0,2621	Leptocurtica
	28	-0,3885	Moderada	Negativa	0,2521	Leptocurtica
	32	-0,2373	Moderada	Negativa	0,249	Leptocurtica
	36	-0,1089	Fraca	Negativa	0,2678	Platicurtica
10	8	-0,0337	Fraca	Negativa	0,2335	Leptocurtica
	12	-0,1613	Moderada	Negativa	0,2752	Platicurtica
	16	-0,1135	Fraca	Negativa	0,2490	Leptocurtica
	20	0,4586	Moderada	Positiva	0,2746	Platicurtica
	24	-0,1128	Fraca	Negativa	0,2405	Leptocurtica
	28	-0,1531	Moderada	Negativa	0,2753	Platicurtica
	32	-0,1709	Moderada	Negativa	0,2638	Platicurtica
	36	-0,1238	Fraca	Negativa	0,2548	Leptocurtica
11	8	-0,2389	Moderada	Negativa	0,2739	Platicurtica
	12	-0,5369	Moderada	Negativa	0,2734	Platicurtica
	16	-0,6452	Moderada	Negativa	0,2657	Platicurtica
	20	-0,3867	Moderada	Negativa	0,2385	Leptocurtica
	24	-0,3673	Moderada	Negativa	0,2465	Leptocurtica
	28	-0,2605	Moderada	Negativa	0,2641	Platicurtica
	32	-0,2514	Moderada	Negativa	0,2537	Leptocurtica
	36	-0,3489	Moderada	Negativa	0,2400	Leptocurtica
12	8	-0,0844	Fraca	Negativa	0,2801	Platicurtica
	12	-0,0413	Fraca	Negativa	0,2670	Platicurtica
	16	-0,0930	Fraca	Negativa	0,2694	Platicurtica
	20	-0,1191	Fraca	Negativa	0,2548	Leptocurtica
	24	-0,1281	Fraca	Negativa	0,2548	Leptocurtica
	28	-0,0809	Fraca	Negativa	0,2671	Platicurtica
	32	-0,0967	Fraca	Negativa	0,2681	Platicurtica
	36	-0,1901	Moderada	Negativa	0,2492	Leptocurtica

6.CONCLUSÕES

- Os espaçamentos com maiores DAP, ritmo de crescimento e número indivíduos foram 10 (19 m²), 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²);
- Os espaçamentos 1 (0,5 m²), 2 (0,77 m²) e 3 (1,17 m²) obtiveram menor ritmo de crescimento e alta mortalidade;
- Para o espaçamento 9 (12,86 m²), a melhor função foi Sb de Jonhson. Já para os espaçamentos 7 (5,86m²) e 11 (28,01 m²), a que melhor se ajustou foi Dagum, e para os demais, a função Weibull 3p;
- A função Weibull 3p, apesar de não ter sido a melhor em todos os espaçamentos, demonstrou-se precisa e consistente e pode ser utilizada para os demais espaçamentos avaliados;
- O crescimento em diâmetro observado em todos os espaçamentos, são indícios de que os espaçamentos, representando povoamentos distintos, ainda não estão totalmente estocados.
- Os espaçamentos 1, 2 e 3 apresentaram o crescimento das curvas de distribuição diamétricas tendendo a estagnação do crescimento diamétrico.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AQUINO, P. S. R. **Crescimento inicial de eucalipto em função do espaçamento utilizando delineamento sistemático tipo “leque”**. 2017. 136f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília– DF, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; LEITE, H. G.; CASTRO, R. V. O.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; BINOTI, M. L. M. S. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função Gama. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 307–314, 2013.

AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

BAILEY, R. L.; DELL, R. Quantifying Diameter Distributions with the Weibull Function. **Forest Sciences**, v. 19, n. 2, p. 97–104, 1972.

BAKER, F. S. **Principles of silviculture**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 1950.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais. **IPEF**, v. 1, n. 2, p. 1–14, 1980.

BARRA, O. S. V.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A.; DALLA CORTE, A. P. Promosta metodológica para o ajuste ótimo da distribuição diamétrica weibull 3p. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 387–393, 31 dez. 2004.

BARTOSZECK, A. C. P. S. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracinga da região metropolitana de Curitiba, Paraná. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 517–533, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de produtos florestais: árvores, arvoresdos e florestas**. São Paulo: Oficina de textos, 2014.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Projeção da Distribuição Diamétrica de Povoamentos Equiâneos Utilizando a Função Nakagami e Weibull. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 5, n. 2, p. 103–110, 2014.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e Estatística**. 2. ed. Belo Horizonte: PUC Virtual, 2003.

CRESPO, A. A. **Estatística Fácil**. 17. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

ELERATI, T. L. **Espaçamento, genótipo, idade e a produção de biomassa em povoamento de eucalipto**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-

Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Classificação do Solo. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978. 455p

FERREIRA, J. C. S. **Análise da estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade**. 2011. Universidade de Brasília, 2011.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric Statistical Inference**. 3th. ed. New York: Marcel Dekker. (Statistics: textbook and monograph, v.31), 1992.

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**, v. 28, n. 1, p. 61–69, jul. 1989.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. John Wiley ed. New York -London: John Wiley & Sons, 1962.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1982.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; GASPAR, R. O.; GATTO, A.; VALADÃO, M. B. X.; CARRIJO, J. V. N. Funções de densidade de probabilidade para estimativa das distribuições de variáveis dendrométricas em um povoamento clonal de eucalipto. **Espacios**, v. 38, n. 16, p. 17, 2017.

JOHNSON, N. L. Systems of Frequency Curves Generated by Transformations of Logistic Variables. **Biometrika**, v. 36, p. 149–176, 1949.

KLEIBER, C.; KOTZ, S. **Statistical Size Distributions in Economics and Actuarial Sciences**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. **Handbuch der Klimatologie**, v. 1, n. c, p. 7–30, 1936.

MACHADO, F. C. **Crescimento inicial de um clone de Eucalyptus grandis em diferentes arranjos de plantios no sistema de curta rotação**. 2014. Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, 2014.

MACHADO, S. A.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; NASCIEMENTO, R. G. M.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. da; MIGUEL, E. P.; TEO, S. J. Distribuição diamétrica de. **Scientia Agraria**, v. 10, n. 2, p. 103–110, 2009.

MATHWAVE. **EasyFt Professional Edition**, 2010. . Disponível em: <<http://www.mathwave.com/help/easyfit/index.html>>.

MEYER, P. L. **Probabilidade: Aplicações à estatística**. 2ª Edição ed. [s.l.: s.n.]

MICROSOFT CORPORATION. **Excel software**, 2016. .

MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Using the Weibull fuction for prognosis of yield by diameter class in Eucalyptus urophylla stands.

Cerne, v. 16, n. 1, p. 94–104, 2010.

MORAES, M. A.; MORAES, S. M. B.; SILVA, E. C. B.; KUBOTA, T. Y. K.; SILVA, A. M.; RESENDE, M. D. V.; MORAES, M. L. T. Variação genética em progêmies de Jacaranda Cuspidifolia Mart. utilizando o delineamento sistemático tipo “ leque ”. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 175–183, 2013.

MORAES NETO, S. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; MACIEL, G. A. Distribuição diamétrica e altimétrica e altimétrica do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em Sistema agrossilvipastoril. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa cerrados-EMBRAPA/CNPF**, v. 317, p. 26, 2014.

MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. 1979. Department of Agriculture, 1979.

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

NELDER, J. A. New Kinds of Systematic Designs for Spacing Experiments. **International Biometric Society**, v. 18, n. 3, p. 283–307, 1962. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2527473> .>.

NELSON, T. C. Diameter distribution and growth of loblolly pine. **Forest Science**, Bethesda, v. 10, n. 1, p. 105-114, 1964.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 377–387, jun. 2006.

NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: NOVAES PINTO, M., org. **Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Universidade de Brasília/SEMATEC, 1994. p. 285–344.

PEREIRA, W.; TANAKA, O. K. **Estatística: conceitos básicos**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O Uso do Eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergi muss scyentifica**, v. 6, n. 1, p. 10–18, 2011.

RETSLAFF, F. A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 719–732, 2012.

SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; DALLA CORTE, A. P.; PÉLLICO NETTO, S.; RODRIGUES, A. L.; SIMON, A. A. A model based on environmental factors for diameter distribution in black wattle in Brazil. **PLOS ONE**, v. 9, n. 6, 2014.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone**

híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. 2011. Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, SP, 2011.

SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; GALVÃO, F.; SANQUETTA, C. R. Alteração na estrutura diamétrica de uma floresta ombrófila mista no período entre 1979 e 2000. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 283–295, 2006.

SCHMIDT, L. N. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto na região central de Minas Gerais.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal., 2017.

SCHRÖDER, T.; ZIMMERMANN, A. P. L.; FLEIG, F. D.; DOMINGOS NETO, V. C. Funções de densidade probabilística para predição da distribuição diamétrica em plantios de eucalipto em função do espaçamento. **Revista do Instituto Florestal**, v. 28, n. 2, p. 111–117, 2016.

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

SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos.** 1990. 126f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 1990.

SILVA, V. S. M.; SOARES, T. S.; COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; HOSOKAWA, R. T.; SCOLFORO, J. R. S. Prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. pela aplicação da função de distribuição Sb de Johnson. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 853–863, 2009.

SMITH, D. M. **The practice of silviculture.** 8. ed. New York -London: John Wiley & Sons, 1986.

STAPE, J. L. **Utilização de delineamento sistemático tipo leque no estudo de espaçamentos florestais.** 1995. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

VANCLAY, J. K.; LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; CAMERON, D. M. Spatially explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 6, p. 611–619, 12 set. 2013.

CAPITULO 2- PROGNOSE DO CRESCIMENTO E DA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* ganhou destaque no Brasil por possuir espécies de rápido crescimento, ampla adaptabilidade, boa qualidade da madeira e por ser um recurso renovável (SANTANA, 2009). Tendo em vista os fatores que favorecem a implantação e desenvolvimento desse gênero no cenário nacional, o emprego de diversas espécies e clones tem sido cada vez mais demandado para a formação de florestas plantadas, principalmente quando se visa o fornecimento de matéria-prima para segmentos de energia, celulose, moveis e construção civil.

O uso diversificado da madeira, assim como as oscilações de preço e a demanda por matéria deste cunho, são aspectos que exercem uma pressão mercadológica por produtos cada vez mais diversificados. Este comportamento se reflete na forma como os produtores florestais optam por diversificar os produtos oriundos dos povoamentos florestais, multiprodutos.

Partindo desse pressuposto, o planejamento da produção é fundamental quando o destino da floresta é multiprodutos (RETSLAFF et al., 2012), e a ferramenta mais utilizada é a modelagem de distribuição diamétrica, pois não só descreve a estrutura diamétrica e outros atributos da floresta, mas também realiza-se projeções, permitindo assim, prever os multiprodutos, subsidiar avaliação econômica e auxiliar na tomada de decisão (CAMPOS; LEITE, 2017).

Alguns estudos comprovaram a maior rentabilidade de florestas de *Eucalyptus* destinadas a multiprodutos ao invés de um único uso (SOARES et al., 2003; MENDONÇA et al., 2008; SANTOS, 2010 ; LUSTOSA JÚNIOR et al., 2017). Porém, estratégias de arranjo e espaçamento de plantio podem interferir no tamanho e na definição dos produtos, do preço, dos custos e sobre a colheita e tratamentos culturais (PENNER; ROBINSON; BURGESS, 2001), interferindo assim na viabilidade econômica do projeto. Segundo Pauleski (2010), para estabelecer um espaçamento de plantio adequado é preciso pesar os prós e contras e definir qual produz maior rendimento

em uma região, de acordo com os valores obtidos dos sortimentos produzidos pela floresta.

Entretanto, estudos envolvendo vários espaçamentos demandam extensos plantios florestais, o que eleva os custos de investimento, gerando dificuldades de se obter recursos para instalação, manutenção e avaliação do experimento (ODA, 2005).

Com o intuito de superar tais restrições dos delineamentos experimentais tradicionais, Nelder (1962) propôs como alternativa o delineamento sistemático tipo “leque”, que vem sendo utilizado nos últimos anos em vários estudos na área florestal (ODA-SOUZA et al., 2008; STAPE; BINKLEY, 2010; SANTOS, 2011; MORAES et al., 2013; VANCLAY et al., 2013; AQUINO, 2017).

Diante desse cenário, formulou-se as seguintes questões: Quais são os multiprodutos possíveis para cada espaçamento em plantios de eucalipto jovem? Quais são os espaçamentos mais promissores para serem utilizados em regimes de curta rotação?

2. OBJETIVO

Avaliar a produção futura para multiprodutos madeireiros de *Eucalyptus* sp. em diferentes espaçamentos.

2.1. Objetivos específicos

- Ajustar sistemas de equações de projeção da distribuição diamétrica para diferentes espaçamentos e avaliar a qualidade dos ajustes;
- Obter equações hipsométricas e de taper para cada espaçamento;
- Projetar a distribuição do volume por classe diamétrica para cada espaçamento nos meses 12, 24, 36 e 48;
- Quantificar os multiprodutos possíveis para cada espaçamento, nas idades 36 e 48 meses.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo e do experimento

A caracterização da área de estudo e a descrição do experimento estão presentes nos subtópicos 4.1 e 4.2 do Capítulo 1 desta dissertação.

3.2 Coleta de dados

Para a formação da base de dados deste estudo foram mensurados o DAP e Altura Total (Ht) de todos os indivíduos em três blocos em Leque (NELDER, 1962) de 4 em 4 meses até 36 meses (8 medições) de idade conforme descrito no item 4.1 do capítulo 1 deste estudo. Adicionalmente, realizou-se a cubagem de cinco árvores em pé, medindo os diâmetros em seções de 0,5 m, da base do fuste até 5 m de altura, em cada bloco, para as idades de 16, 24 e 36 meses. Foram cubadas 5 árvores em cada um dos 12 espaçamentos de cada bloco, em cada idade, totalizando 180 árvores. Os indivíduos selecionados foram com base na proximidade da média do DAP de cada espaçamento na primeira medição, e remidiu-se os mesmos indivíduos nas medições seguintes.

3.3 Prognose da distribuição diamétrica

A prognose da distribuição diamétrica foi realizada por meio do método alternativo da redistribuição teórica dos diâmetros, proposta por Nogueira et al., (2005). O método consiste em utilizar um sistema de modelos de projeção, em que as variáveis independentes na idade atual, são utilizadas para projetar as mesmas variáveis em uma idade futura conforme utilizado por Nogueira et al. (2005), Retslaff et al. (2012) e Leite et al. (2013).

O parâmetro beta ($\beta > 0$) indica a escala, ou seja, amplitude da curva teórica de distribuição diamétrica. O parâmetro gama (γ) representa a forma da curva, em que $\gamma < 1$ = a curva do tipo hiberbólica negativa (J-invertido); se $\gamma = 1$ a forma da curva é exponencial; se $\gamma = 2$ a forma *Rayleigh* (distribuição qui-quadrado); quando $1 < \gamma < 3,6$ = a curva de distribuição tem forma normal com assimetria positiva; se $\gamma \approx 3,6$ = curva próxima a função normal; e $\gamma > 3,6$ = curva de forma normal com assimetria negativa (BAILEY; DELL, 1972; CLUTTER et al., 1983).

A projeção diâmetro mínimo (d_{\min}), diâmetro máximo (d_{\max}) irão definir os limites das curvas de distribuição diamétrica, onde sua amplitude total dividida pela amplitude de classe (1 cm), vão definir o número de classes. Também, o d_{\min} é associado ao parâmetro alfa (α) da função Weibull 3p, indicando alocação da curva de distribuição diamétrica. Como ajuste da função Weibull 3p procedeu-se pelo método da máxima verossimilhança (tópico 4.3.2 do Capítulo 1), o parâmetro α foi obtido independente do sistema, sendo atribuído um percentual do d_{\min} , variando entre 0% a 100%, até que, o valor proposto de α resulte em uma combinação que seja não significativo pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (SCOLFORO, 2006).

O número de indivíduos (N) indica a sobrevivência do povoamento implantado, que pode ser estimado por uma função linear ou não-linear, ou mesmo pré-definido por um percentual de sobrevivência. Como o percentual de sobrevivência é influenciado pela densidade de indivíduos (espaçamento), optou-se por obter equações que projetem a mortalidade. Porém, não foram ajustadas equações estimando o número de indivíduos futuro para os espaçamentos 4 ao 12, pois a mortalidade não foi significativa (menor que 1 indivíduo) durante o período analisado.

Sendo assim, as variáveis utilizadas para a projeção foram os parâmetros beta (β) e gama (γ) da função Weibull 3p ajustada conforme descrito no capítulo 1, diâmetro mínimo (d_{\min}), diâmetro máximo (d_{\max}) e número de indivíduos (N). O método de ajuste foi pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) utilizando o Software Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004). O sistema de modelos de projeção utilizado para cada espaçamento é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Sistema de modelos de projeção utilizado para cada espaçamento de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Modelo	Fonte	
$\ln(N_2) = b_0 + b_1 d_{medio_2} + b_2 \ln(N_1) + \varepsilon$	-	(Eq 12)
$\beta_2 = b_0 + b_1 N_2 + b_2 d_{max_2} + b_3 \beta_1 + \varepsilon$	Azevedo et al. (2016)	(Eq 13)
$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + b_0 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right) + \varepsilon$	Campos; Leite (2017)	(Eq 14)
$d_{max_2} = b_0 + b_1 Id_2 + b_2 d_{max_1} + \varepsilon$	Scolforo (2006) adaptado	(Eq 15)
$d_{min_2} = b_0 + b_1 Id_2 d_{min_1} + \varepsilon$	-	(Eq 16)

Em que: β_1 e β_2 = parâmetros de escala da função Weibull em uma idade atual e futura, respectivamente; γ_1 e γ_2 parâmetros de forma da função Weibull em uma idade atual e futura, respectivamente; Id_1 e Id_2 = idade atual e futura, em meses, respectivamente. N_1 e N_2 =número de indivíduos por hectare em uma idade futura; d_{min_1} e d_{min_2} = diâmetro mínimo do DAP idade futura, respectivamente; d_{max_1} e d_{max_2} = diâmetro máximo do DAP na idade atual e futura, respectivamente; d_{medio_2} = diâmetro médio do DAP na idade futura; b_i =parâmetros; e ε = erros aleatórios independentes, com média zero e variância constante.

Em seguida, com os parâmetros projetados pelo sistema de equações, a distribuição diamétrica foi projetada para idade futura, sempre partindo de uma distribuição inicial observada, ou seja, utilizando os parâmetros da função Weibull 3p conforme Nogueira et al. (2005). A qualidade dos ajustes foi analisada por meio do gráfico de resíduos das variáveis dependentes, a raiz quadrada do erro médio (RQEM%) e a correlação de Pearson ($r_{y\hat{y}_i}$), representadas pelas equações 8 e 9 do subtópico 4.3.3 do capítulo 1.

Para validar o sistema de projeção, utilizou-se os parâmetros da distribuição Weibull 3p estimados para calcular as frequências teóricas acumuladas e compará-las com as frequências observadas (real) acumuladas por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (GIBBONS; SUBHABRATA, 1992) ao nível de 95% e 99% de probabilidade. E com os sistemas de equações validado, projetou-se as distribuições diamétricas para as idades 12, 24, 36 e 48 meses para cada um dos espaçamentos avaliados.

3.4 Modelos de *taper* e hipsométricos

Com os dados de cubagem foi realizado o ajuste do modelo de *taper* de Garcia et al. (1993) (Eq 17), para cada um dos 12 espaçamentos nas idades 16, 24 e 36 meses, totalizando 45 árvores por ajuste. As equações permitiram descrever matematicamente o perfil do fuste e, por meio da sua integral (Eq 18), obter os volumes individuais total e de sortimentos (multiprodutos) desejados.

$$\left(\frac{d}{DAP}\right)^2 = b_0 + b_1 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + b_2 \left(\frac{h}{Ht}\right) + \varepsilon \quad (\text{Eq 17})$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[\hat{b}_0 (h_2 - h_1) + \frac{2\hat{b}_1}{3Ht^{1/2}} (h_2^{3/2} - h_1^{3/2}) + \frac{\hat{b}_2}{2Ht} (h_2^2 - h_1^2) \right] \quad (\text{Eq 18})$$

Em que : b_0 , b_1 , e b_2 , = parâmetros do modelo a serem estimados; \hat{b}_0 , \hat{b}_1 e \hat{b}_2 = coeficientes da equação; Ht= altura total, em metros; DAP= diâmetro a altura do peito; d= diâmetro tomado ao longo do fuste; h= altura dos diâmetros (d) tomados ao longo do fuste; e ε = erros aleatórios independentes, com média zero e variância constante.

Adicionalmente, com os dados de DAP e altura total de todos os indivíduos mensurados nas avaliações quadrimestrais (8 medições), foi ajustado o modelo hipsométrico linear de Trorey (Eq 19) para cada espaçamento. Os ajustes dos modelos foram por meio do método Mínimos Quadrado Ordinários (MQO) empregando o Software Estatística 7 (STATSOFT, 2004). A avaliação da qualidade dos ajustes das equações de *taper* e hipsométricas foi feita conforme no item 4.4.

$$ht = b_0 + b_1 dap + b_2 dap^2 + \varepsilon \quad (\text{Eq 19})$$

Em que : b_0 , b_1 e b_2 = parâmetros do modelo a serem estimados ; ht= altura total, em metros; DAP=diâmetro a altura do peito; e ε = erros aleatórios independentes, com média zero e variância constante.

3.5 Projeção do volume por classe diamétrica

Para estimar o volume total ($m^3 \cdot ha^{-1}$) por classe diamétrica, foram utilizadas as equações hipsométricas para estimar a altura média em cada classe de diâmetro, com estimativas para as idades 12, 24, 36 e prognosticado para 48 meses de cada espaçamento. Em seguida, com o centro das classes diamétricas e altura total média estimada, utilizou-se as integrais das equações de *taper* para o cálculo do volume médio individual de cada classe para cada espaçamento e idade. Por fim, multiplicando o volume por classe pelo

número de indivíduos projetados por meio dos parâmetros da função da Weibull 3p, obteve-se a distribuição volumétrica total. O comportamento das distribuições volumétricas projetadas por classe de diâmetro de cada espaçamento e idade foram comparadas visualmente por meio gráfico de barras.

Os tipos mais usuais de crescimento florestal são o Incremento Médio Anual (IMA) e o Incremento Corrente Anual (ICA). O IMA é a produção até uma idade particular dividida por esta idade, ou seja, a taxa média do aumento da produção desde a implantação do povoamento até uma idade particular, enquanto que ICA corresponde ao valor do aumento de produção no período de um ano, geralmente expressos por hectare (LEITE; CAMPOS, 2017). Desta forma uma curva de crescimento possibilita definir o máximo incremento e conseqüentemente a rotação com base na máxima produção em volume, denominada de rotação técnica ótima. Enquanto o ICA é maior que o IMA, não se atingiu o máximo Incremento Médio Anual. Quando o ICA torna-se menor que o IMA, significa que este último começou a decrescer (SCOLFORO, 2006).

De posse dos volumes totais estimados, a idade técnica de corte foi definida para cada espaçamento, plotando graficamente o incremento corrente anual (ICA) e o incremento médio anual (IMA). O ICA e IMA foram calculados pelas equações Eq 20 e Eq 21 (LEITE; CAMPOS, 2017).

$$\text{ICA} = \text{Vol}_{(I+1)} - \text{Vol}_{(I)} \quad (\text{Eq 20})$$

$$\text{IMA} = \frac{\text{Vol}_{(I)}}{I} \quad (\text{Eq 21})$$

Em que: $\text{Vol}_{(I)}$ e $\text{Vol}_{(I+1)}$ = volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) na idade atual e futura, respectivamente; I= idade em anos.

3.6 Multiprodutos

Utilizando a estimativa da distribuição diamétrica para 36 e a prognose para 48 meses, para cada espaçamento, foi realizado um comparativo entre dois cenários: o povoamento destinados à multiprodutos (Cenário I); o povoamento convertido para um único uso (Cenário II).

No Cenário I, para a conversão das árvores em multiprodutos, utilizou-se a integral da equação ajustada de *taper* geral de cada espaçamento para quantificar os produtos, atendendo as especificações de comprimento de tora, diâmetro mínimo com casca (Tabela 6). Quanto ao Cenário II o uso seria destinado a lenha (m^3), com diâmetro

mínimo de 4 cm e em toras de 2 m. Para ambos os cenários, o comprimento de secção com diâmetro menor que 4 cm, foi considerado resíduo. O processamento dos dados foi realizado por meio do Microsoft Excel (2016).

Tabela 6. Produtos comercializados localmente, com suas medidas.

Tipo	Diametro Mínimo (cm)	Comprimento (m)
Estaca Tipo IV	5	2,2
Estaca Tipo III	8	2,2
Estaca Tipo III	11	2,2
Estaca Tipo I	14	2,2
Esticador	16	2,2
Pilar	16	3,2

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistema de projeção

4.1.1 Número de indivíduos (N)

Na Tabela 7 são apresentadas as equações e estatísticas de precisão para as estimativas do número de indivíduos para os espaçamentos 1 (0,5 m²), 2 (0,77 m²) e 3 (1,17 m²). Cabe-se destacar que as prognoses foram limitadas para a idade de 48 meses devido à possível influencia da mortalidade nestes tratamentos em idades futuras.

Com o aumento do espaçamento foi observado o decréscimo do coeficiente de correlação, no entanto todos foram considerados com alta correlação. Já para o RQEM (%), constatou-se o processo inverso.

Tabela 7. Equações ajustadas para projetar o número de indivíduos (N) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1, 2 e 3.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m ³)	$\ln(N_2) = 2,8744 - 0,011207d_{medio_2} + 0,41933\ln(N_1)$	0,9077	6,63
2 (0,77 m ³)	$\ln(N_2) = 1,5618 - 0,02145d_{medio_2} + 0,67322\ln(N_1)$	0,8893	3,22
3 (1,17 m ³)	$\ln(N_2) = 1,56188 - 0,002145d_{medio_2} + 0,67322\ln(N_1)$	0,8713	1,83

Em que: N_1 e N_2 = número de indivíduos por hectare em uma idade futura; d_{medio_2} = diâmetro médio do DAP na idade futura; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%) = raiz quadrada do erro médio percentual.

Quanto ao gráfico de resíduos do número de indivíduos referente aos espaçamentos 1, 2 e 3 (Figura 10), observou-se que não houve tendenciosidade do erro

percentual ao longo da linha do eixo x. Em suma, analisando os gráficos de distribuição dos resíduos e as estimativas de precisão, constata-se que os ajustes das equações do número de indivíduos foram precisas e consistentes.

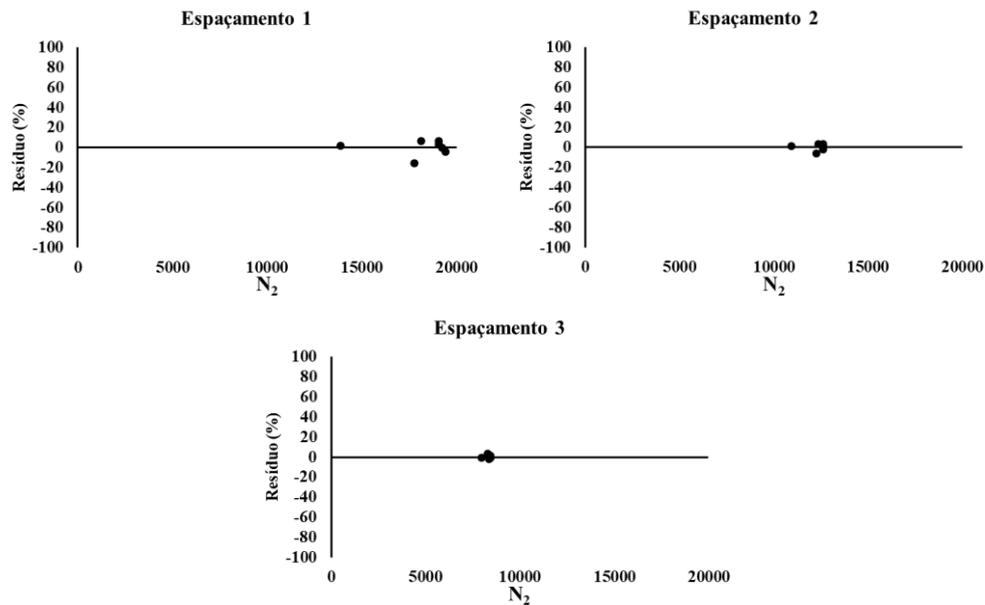


Figura 10. Distribuição de resíduos em relação ao número de indivíduos projetado (N) para os espaçamentos 1 (0,50 m²), 2 (0,77 m²) 3 (1,11 m²).

Campos; Leite (2017) explicam que os modelos de sobrevivência dos indivíduos de um povoamento geralmente são não-lineares, por serem atribuídos a causas biológicas. Também para o estudo em questão, mesmo sendo estes espaçamentos muito adensados os resultados encontrados demonstram que equações lineares se adequaram satisfatoriamente a base de dados. Pode-se, portanto, inferir que a adequabilidade de um modelo linear seja atribuído à modelagem de indivíduos em espaçamentos extramente adensados, ou seja, sob extrema competição.

4.1.2 Beta (β)

Na Tabela 8 são apresentadas as equações ajustadas para estimar o parâmetro beta (β) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12. As correlações obtidas foram superiores a 0,9 para todos os espaçamentos, exceto para o 9. E quanto a RQEM (%), os valores variaram de 1,18% a 9,33%, sendo considerável aceitável essa faixa de erro.

Tabela 8 Equações ajustadas para estimar o parâmetro Beta (β) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m³)	$\beta_2 = 0,9053 + 0,0105.N_2 + 0,14194.d \max_2 + 0,14084\beta_1$	0,9443	3,37
2 (0,77 m³)	$\beta_2 = -5,2718 + 0,05996.N_2 + 0,42427.d \max_2 + 0,0235\beta_1$	0,9041	9,33
3 (1,17 m³)	$\beta_2 = -8,83315 + 0,0874.N_2 + 0,1026.d \max_2 + 0,82937\beta_1$	0,9871	3,88
4 (1,76 m³)	$\beta_2 = -0,3659 + 0,68650.d \max_2 + 0,05983\beta_1$	0,9992	1,18
5 (2,64 m³)	$\beta_2 = -0,64323 + 0,55057.d \max_2 + 0,014807\beta_1$	0,9876	5,71
6 (3,94 m³)	$\beta_2 = -0,038574 + 0,674021.d \max_2 + 0,032136\beta_1$	0,9898	4,12
7 (5,86 m³)	$\beta_2 = 2,479878 + 0,290575.d \max_2 + 0,19975\beta_1$	0,9138	7,12
8 (8,69 m³)	$\beta_2 = 2,253977 + 0,173117.d \max_2 + 0,199752\beta_1$	0,9691	4,44
9 (12,86 m³)	$\beta_2 = 2,423812 + 0,132615.d \max_2 + 0,001544\beta_1$	0,7912	9,32
10 (19,00 m³)	$\beta_2 = 2,475163 + 0,383958.d \max_2 + 0,804247\beta_1$	0,9045	8,46
11 (28,01 m³)	$\beta_2 = 3,883696 + 0,383958.d \max_2 + 0,255686\beta_1$	0,9862	2,68
12 (41,25 m³)	$\beta_2 = 2,299686 + 0,333126.d \max_2 + 0,255686\beta_1$	0,9778	4,58

Em que: β_1 e β_2 = parâmetros de escala da função Weibull em uma idade atual e futura, respectivamente; $d \max_2$ = diâmetro máximo do DAP na idade atual e futura, respectivamente; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%) = raiz quadrada do erro médio percentual.

A distribuição dos resíduos de Beta (Figura 11) foram livres de tendenciosidade em todos os gráficos. Os espaçamentos 1, 3, 4, 6, 9, 11 e 12 obtiveram resíduos percentuais variando em até 5%. Já os espaçamentos 2, 5, 7, 8 e 10 tiveram o seu erro percentual em até 15%. Com as análises gráficas dos resíduos e as estatísticas de precisão, consideraram-se os ajustes das equações de projeção de beta satisfatórias para todos os espaçamentos.

Os resultados encontrados neste estudo foram superiores aos achados de Azevedo et al. (2017) que utilizaram o mesmo modelo para estimar o número de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* de até 72 meses e teve como resultado o erro padrão de 11,43% e coeficiente de determinação 0,51.

Já nos estudos de Nogueira et al. (2005), trabalhando com povoamento híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* submetidos a desbaste, encontraram para o mesmo modelo o coeficiente de determinação ajustado de 0,981, o que corrobora com os resultados do presente estudo.

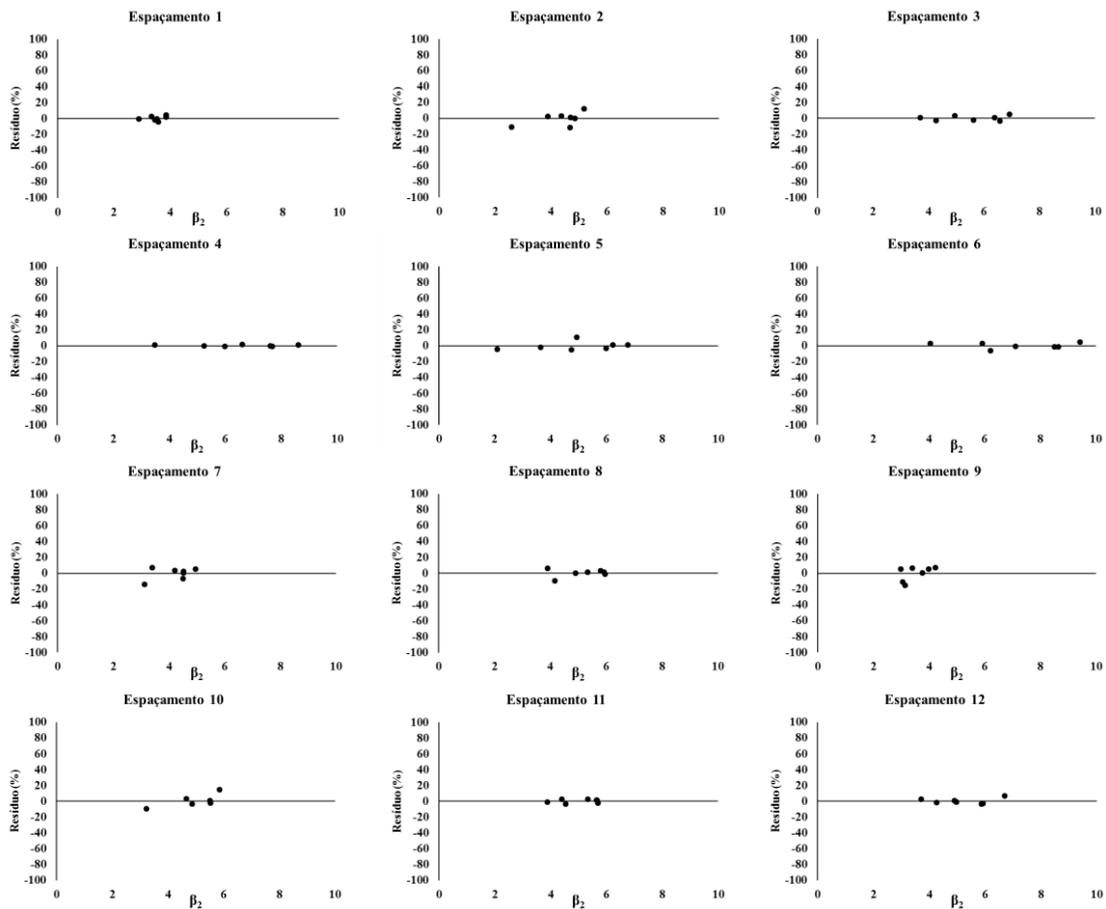


Figura 11. Distribuição de resíduos em relação a variável beta projetada para cada espaçamento.

4.1.3 Gama (γ)

Os resultados dos ajustes do parâmetro gama (γ) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para todos espaçamentos são apresentados na Tabela 9. Observa-se que houve alta correlação entre os dados observados e estimados, com valores superiores de correlação e baixos valores de RQEM (%), inferiores a 6,7%.

Tabela 9. Equações ajustadas para projetar o parâmetro gama (γ) da função Weibull 3p e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 a 12.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{\gamma\hat{\gamma}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 3,515073 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9950	6,7
2 (0,77 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,252822 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9988	6,54
3 (1,17 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,333182 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9994	1,37
4 (1,76 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 7,385649 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9949	2,75
5 (2,64 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,87451 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9948	4,75
6 (3,94 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 6,979795 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9948	4,75
7 (5,86 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,720471 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9986	3,22
8 (8,69 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,738135 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9982	3,22
9 (12,86 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 3,892762 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9978	1,79
10 (19,00 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,885759 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9972	3,57
11 (28,01 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 4,560056 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9996	1,27
12 (41,25 m ³)	$\gamma_2 = \gamma_1 \left(\frac{Id_1}{Id_2} \right) + 3,968099 \left(1 - \frac{Id_1}{Id_2} \right)$	0,9971	1,72

Em que: γ_1 e γ_2 parâmetros de forma da função Weibull em uma idade atual e futura, respectivamente; Id_1 e Id_2 = idade atual e futura, em meses, respectivamente; $r_{\gamma\hat{\gamma}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%) = raiz quadrada do erro médio percentual.

Os gráficos de dispersão dos resíduos de gama (Figura 12) não apresentaram nenhuma tendenciosidade e com valores compactos ao longo da linha de regressão. Os espaçamentos 3, 4, 7, 8, 9, 11 e 12 tiveram os erros variando em $\pm 5\%$, enquanto que os espaçamentos 1, 2, 5, 6 e 10, o erro percentual foram de $\pm 15\%$. Em suma, tanto pela análise gráfica dos resíduos quanto pelas estimativas de precisão, os ajustes de gama projetado foram considerados adequados.

Não foi encontrado nenhum estudo utilizando este modelo para projeção da variável gama, mas alguns trabalhos usaram relações lineares para projetar esta variável. Binoti et al. (2015) trabalharam com a projeção da distribuição diamétrica de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em Minas Gerais, encontraram os valores de correlação

0,917 e RQEM de 5,33% para equação de projeção de gama utilizando como variável independente a razão da idade atual e futura e o diâmetro quadrático.

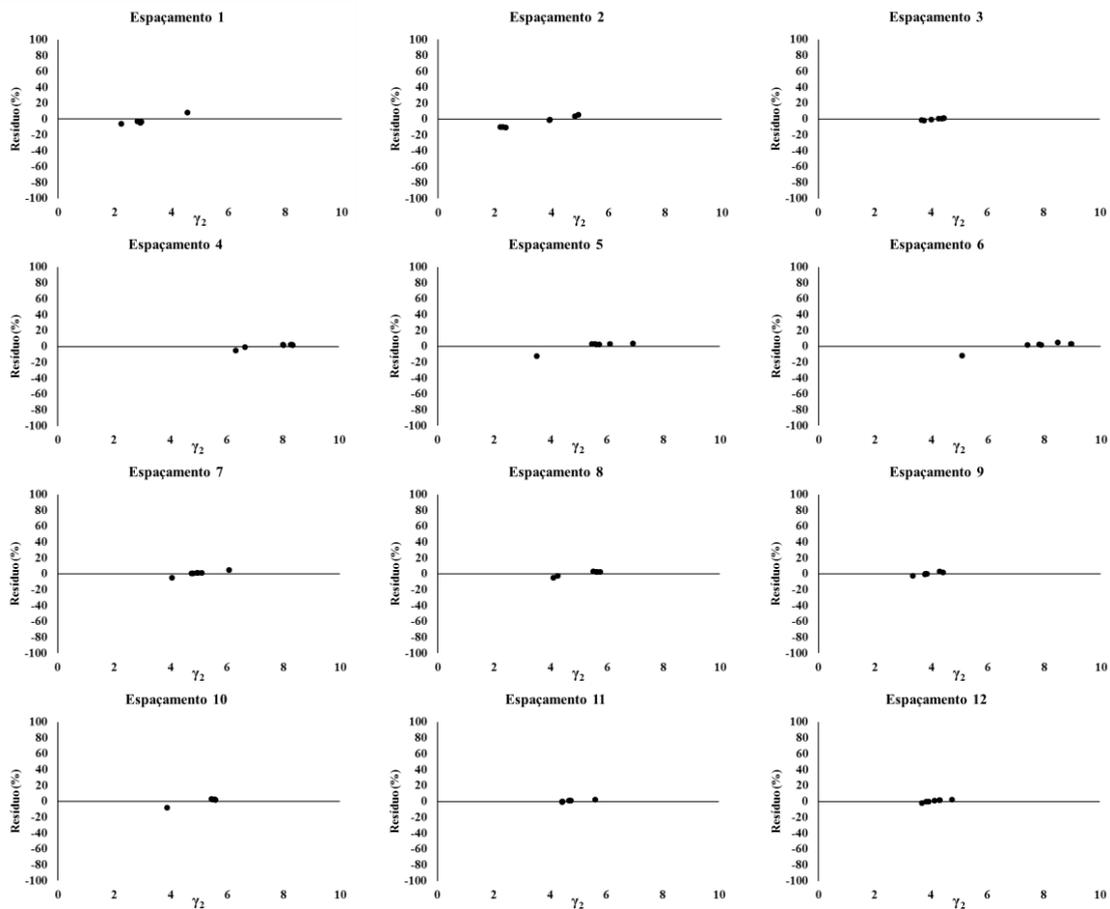


Figura 12. Distribuição de resíduos em relação a variável gama projetada para cada espaçamento.

4.1.4 Diâmetro máximo ($D_{m\acute{a}x}$)

Na Tabela 10 são apresentados os ajustes das equações de projeção do diâmetro máximo para todos os espaçamentos. A correlação entre os diâmetros futuros observados e estimados foi considerada satisfatória, com valores superiores a 0,97. Quanto ao RQEM, foi de no máximo 7,09%.

Tabela 10. Equações ajustadas para estimar a variável diâmetro máximo (dmax) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m³)	$d_{max_2} = 1,841959 + 0,162448Id_2 + 0,342357d_{max_1}$	0,9791	5,41
2 (0,77 m³)	$d_{max_2} = 1,844055 + 0,162426Id_2 + 0,347306d_{max_1}$	0,9755	5,87
3 (1,17 m³)	$d_{max_2} = 2,456522 + 0,134441Id_2 + 0,373914d_{max_1}$	0,9879	3,47
4 (1,76 m³)	$d_{max_2} = 2,797861 + 0,14954Id_2 + 0,37184d_{max_1}$	0,9735	5,31
5 (2,64 m³)	$d_{max_2} = 2,274456 + 0,229253Id_2 + 0,255994d_{max_1}$	0,9711	6,39
6 (3,94 m³)	$d_{max_2} = 3,208508 + 0,071011Id_2 + 0,601118d_{max_1}$	0,9716	5,64
7 (5,86 m³)	$d_{max_2} = 1,841958 + 0,162448Id_2 + 0,342356d_{max_1}$	0,9726	5,91
8 (8,69 m³)	$d_{max_2} = 3,081834 + 0,066332Id_2 + 0,686435d_{max_1}$	0,9777	5,79
9 (12,86 m³)	$d_{max_2} = 3,320608 + 0,020196Id_2 + 0,78591d_{max_1}$	0,9892	3,95
10 (19,00 m³)	$d_{max_2} = 3,451965 + 0,021585Id_2 + 0,781606d_{max_1}$	0,9696	7,09
11 (28,01 m³)	$d_{max_2} = 2,642737 + 0,208625Id_2 + 0,444088d_{max_1}$	0,9784	6,44
12 (41,25 m³)	$d_{max_2} = 2,642737 + 0,208625Id_2 + 0,444088d_{max_1}$	0,9799	6,44

Em que: d_{max_1} e d_{max_2} = diâmetro máximo do DAP na idade atual e futura, respectivamente; Id_2 = idade futura, em meses; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%)= raiz quadrada do erro médio percentual.

Por meio da análise gráfica dos resíduos do $D_{m\acute{a}x}$ (Figura 13) não foi observada tendenciosidade para projetar esta variável em todos os espaçamentos. E diante dos resultados, considerou-se os ajustes satisfatórios analisando as estatísticas de precisão e análise gráfica.

O modelo de Scolforo (2006) tem como proposta a inserção da idade futura e do diâmetro médio como variáveis de entrada no modelo, porém para melhorias no ajuste, substituiu-se o diâmetro médio pelo diâmetro máximo. E diante dos resultados o modelo adaptado foi adequado para todos os espaçamentos.

Leite et al. (2013) tiveram resultados precisos e consistentes ao utilizarem um modelo linear que tem como variável de entrada a razão da idade atual com a futura e o diâmetro máximo para projetar o diâmetro máximo futuro de um povoamento de *Eucalyptus gradis* x *Eucalyptus urophylla* sob espaçamento inicial de 3,0 x 3,0 m.

Castro et al. (2017) utilizaram o mesmo modelo, híbrido e arranjo de plantio em um povoamento implantado na Centro-Leste do Estado de Minas Gerais e tiveram como resultado o coeficiente de correlação de 0,9455, abaixo do encontrado no presente estudo.

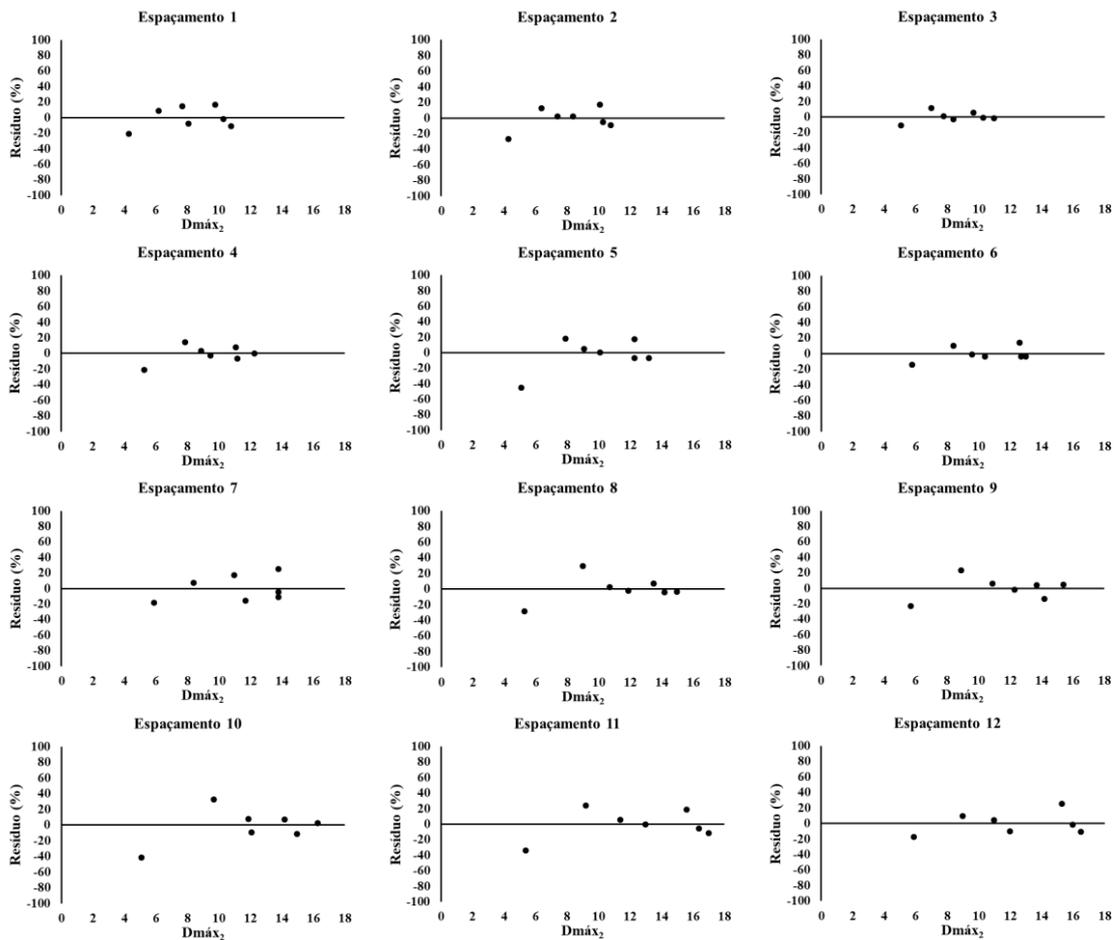


Figura 13. Distribuição de resíduos em relação a variável diâmetro máximo projetado ($D_{máx_2}$) para cada espaçamento.

4.1.5 Diâmetro mínimo (D_{min})

A correlação entre os D_{min} futuros observados e estimados foram considerados satisfatórios. Na Tabela 11 são apresentadas as equações ajustadas para projetar a variável diâmetro mínimo (D_{min}) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 a 12. Os coeficientes de correlação estiveram entre 0,809 e 0,9549 e as RQEM variaram entre 8,03% a 20,83%.

Tabela 11. Equações ajustadas para estimar a variável diâmetro mínimo (d_{min}) e suas estatísticas de precisão para os espaçamentos 1 ao 12.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m ³)	$d_{min_2} = 0,821428 + 0,201124Id_2d_{min_1}$	0,8090125	18,487654
2 (0,77 m ³)	$d_{min_2} = 0,941075 + 0,022766Id_2d_{min_1}$	0,8982255	19,931304
3 (1,17 m ³)	$d_{min_2} = 0,458554 + 0,031832Id_2d_{min_1}$	0,9011477	20,831786
4 (1,76 m ³)	$d_{min_2} = 1,384385 + 0,009335Id_2d_{min_1}$	0,8110135	8,034401
5 (2,64 m ³)	$d_{min_2} = 2,617529 + 0,01323Id_2d_{min_1}$	0,8391776	10,974566
6 (3,94 m ³)	$d_{min_2} = 1,130344 + 0,019418Id_2d_{min_1}$	0,8704406	17,729503
7 (5,86 m ³)	$d_{min_2} = 2,720144 + 0,022201Id_2d_{min_1}$	0,911554	16,961852
8 (8,69 m ³)	$d_{min_2} = 2,298494 + 0,023309Id_2d_{min_1}$	0,9083372	19,03685
9 (12,86 m ³)	$d_{min_2} = 3,301675 + 0,022296Id_2d_{min_1}$	0,9191141	16,661426
10 (19,00 m ³)	$d_{min_2} = 2,627452 + 0,023989Id_2d_{min_1}$	0,9549774	13,465186
11 (28,01 m ³)	$d_{min_2} = 2,361939 + 0,025951Id_2d_{min_1}$	0,9406632	17,596485
12 (41,25 m ³)	$d_{min_2} = 2,382082 + 0,0236011Id_2d_{min_1}$	0,9064247	21,663295

Em que: d_{min_1} e d_{min_2} =diâmetro mínimo do DAP atual e futura, respectivamente; Id_2 = idade futura, em meses; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%)= raiz quadrada do erro médio percentual.

Na Figura 14 é apresentada a distribuição dos resíduos na estimativa do diâmetro mínimo futuro. De maneira geral, não houve tendenciosidade na dispersão dos resíduos em todos os espaçamentos.

Analisando os resultados, observa-se que há uma dificuldade em estimar o diâmetro mínimo em idades iniciais independente do espaçamento. Infere-se que seja pelo fato do crescimento do diâmetro mínimo estar associado aos indivíduos suprimidos, que não acompanha com o crescimento do povoamento em geral, diminuindo sua correlação com a idade. Diante do exposto, considerou-se os ajustes satisfatórios.

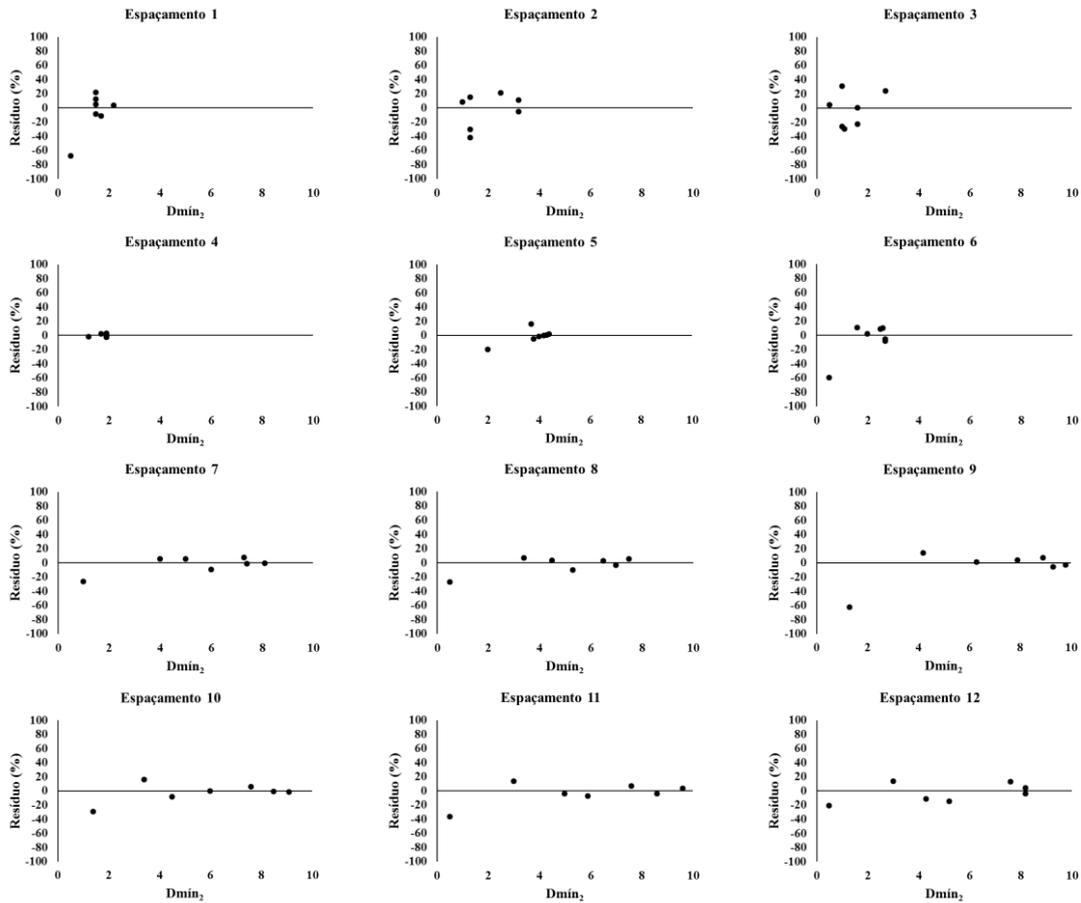


Figura 14. Distribuição de resíduos em relação a variável diâmetro mínimo projetado (D_{min_2}) para cada espaçamento.

4.1.6 Validação

As frequências teóricas acumuladas foram projetadas utilizando os valores de beta e gama estimados. Quanto aos valores de alfa, que seriam o parâmetro de alocação da curva, foram selecionados aleatoriamente entre os percentuais de 10% a 90% do diâmetro mínimo projetado.

Na Tabela 12 é apresentada a síntese do desempenho no teste K-S das distribuições teóricas estimadas pelo sistema de equações de projeção para cada espaçamento e idade. O valor D_{cal} representado é o ponto de máxima divergência ou máxima diferença entre frequência estimada acumulada e a frequência teórica observada.

Os valores encontrados de D_{cal} foram de 0,02 a 0,158, sendo todas as frequências aceitas no teste de K-S a 95% de probabilidade, exceto aos 20 e 36 meses do espaçamento 9, e aos 20 meses do espaçamento 10, que foram aceitas ao nível de 1% de significância.

Sendo assim, as curvas teóricas projetadas são iguais as curvas reais de distribuição diamétrica, o que demonstra a possibilidade de se utilizar o sistema de equações de projeção para espaçamentos entre os extremos (mais adensado ou mais amplos) em plantios de eucalipto em idades iniciais.

Leite et al. 2013 explica que a eficiência do sistema de projeção deve-se a significativa correlação dos parâmetros da função Weibull3p com a idade. Os mesmos autores recomendam que, ao estimar uma variável futura (variável 2) e utiliza-se no ajuste a mesma variável em idades anteriores (variável 1).

Outros estudos envolvendo sistema de projeção para prognose da distribuição diamétrica de eucalipto tiveram resultados precisos e consistentes como Leite et al. (2005), Lopes (2007), Santos (2008), Binoti et al. (2010), Araújo Júnior et al. (2010), Binoti et al. (2012), Leite et al. (2013), Binoti et al. (2014), Binoti et al. (2015) e Azevedo et al. (2017).

Tabela 12. Teste de aderência de Kolmogorov Smirnov ($p > 0,5$ e $p > 0,01$) para a frequência acumulada teórica e projetada para as idades 12 a 36 meses de cada espaçamento.

Esp (área vital)	Idade (meses)	Dcal	d.tab 95%	d.tab 99%	Esp (área vital)	idade (meses)	Dcal	d.tab 95%	d.tab 99%
1 (0,50 m ³)	12	0,0597 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598	7 (5,86 m ³)	12	0,0840 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	16	0,0301 ^{ns a 95%}	0,1341	0,1606		16	0,0836 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	20	0,0373 ^{ns a 95%}	0,1341	0,1606		20	0,0816 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	24	0,0344 ^{ns a 95%}	0,1374	0,1647		24	0,0590 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	28	0,0819 ^{ns a 95%}	0,1388	0,1664		28	0,0852 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	32	0,1107 ^{ns a 95%}	0,1571	0,1882		32	0,0668 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	36	0,1427 ^{ns a 95%}	0,1592	0,1908		36	0,0722 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
2 (0,77 m ³)	12	0,1155 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591	8 (8,69 m ³)	12	0,1456 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	16	0,1006 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591		16	0,0467 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	20	0,0703 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591		20	0,0634 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	24	0,0518 ^{ns a 95%}	0,1341	0,1606		24	0,0530 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	28	0,0952 ^{ns a 95%}	0,1347	0,1614		28	0,0706 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	32	0,1022 ^{ns a 95%}	0,1426	0,1709		32	0,0672 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
	36	0,0807 ^{ns a 95%}	0,1426	0,1709		36	0,0295 ^{ns a 95%}	0,1309	0,1568
3 (1,17 m ³)	12	0,1171 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576	9 (12,86 m ³)	12	0,0839 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576
	16	0,0578 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		16	0,1004 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576
	20	0,0732 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		20	0,1326 ^{ns a 99%}	0,1315	0,1576
	24	0,0719 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		24	0,0741 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576
	28	0,0492 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		28	0,0977 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576
	32	0,1164 ^{ns a 95%}	0,1353	0,1622		32	0,0292 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576
	36	0,0581 ^{ns a 95%}	0,1374	0,1647		36	0,1046 ^{ns a 99%}	0,1315	0,1576

Continua...

Cont., Tabela 12

Esp (área vital)	Idade (meses)	Dcal	d.tab 95%	d.tab 99%	Esp (área vital)	idade (meses)	Dcal	d.tab 95%	d.tab 99%
4 (1,76 m ³)	12	0,0215 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576	10 (19,00 m ³)	12	0,0632 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	16	0,0445 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		16	0,0391 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	20	0,0628 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		20	0,1582 ^{ns a 99%}	0,1327	0,1591
	24	0,0805 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		24	0,1239 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	28	0,0745 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		28	0,0203 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	32	0,1281 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		32	0,0794 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
	36	0,0570 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		36	0,141 ^{ns a 95%}	0,1327	0,1591
5 (2,64 m ³)	12	0,0560 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576	11 (28, 01 m ³)	12	0,0564 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	16	0,0663 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		16	0,0828 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	20	0,1117 ^{ns a 95%}	0,1315	0,1576		20	0,0583 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	24	0,1220 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		24	0,0612 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	28	0,0837 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		28	0,0250 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	32	0,0641 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		32	0,0548 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
	36	0,0576 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		36	0,1028 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583
6 (3,94 m ³)	12	0,0382 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583	12 (41,25 m ³)	12	0,0980 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598
	16	0,0585 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		16	0,0634 ^{ns a 95%}	0,134	0,1606
	20	0,0847 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		20	0,0704 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598
	24	0,0623 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		24	0,0433 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598
	28	0,0936 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		28	0,0619 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598
	32	0,0391 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		32	0,076 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598
	36	0,0977 ^{ns a 95%}	0,1321	0,1583		36	0,0859 ^{ns a 95%}	0,1334	0,1598

4.2 Projeção do volume por classe diamétrica

4.2.1 Altura

Analisando as estatísticas de precisão das equações hipsométricas (Tabela 13), observou-se que a correlação entre a altura observada e estimada variaram entre 0,9122 a 0,9815, e RQEM (%) estiveram entre 8,07% a 13,14%. Os espaçamentos muito adensados (1, 2 e 3), tiveram ajustes menos precisos. Esta queda no desempenho dos modelos pode ser explicada pelo menor grau de correlação entre a altura e DAP dos indivíduos sob extrema competição ao longo dos anos.

Tabela 13. Estimativa das equações hipsométricas gerais ajustadas para cada espaçamento com suas respectivas estatísticas de precisão.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m ³)	$ht = 0,358791 + 2,483381dap - 0,089813dap^2$	0,9122	13,14
2 (0,77 m ³)	$ht = -1,028574 + 2,641711dap - 0,088759dap^2$	0,9483	10,64
3 (1,17 m ³)	$ht = -0,251983 + 2,189866dap - 0,049729dap^2$	0,9507	11,1
4 (1,76 m ³)	$ht = -0,908911 + 2,149386dap - 0,043644dap^2$	0,9811	7,34
5 (2,64 m ³)	$ht = -0,936509 + 1,994503dap - 0,034376dap^2$	0,9846	7,53
6 (3,94 m ³)	$ht = -0,368506 + 1,75292dap - 0,024731dap^2$	0,9891	6,73
7 (5,86 m ³)	$ht = -0,277354 + 1,597768dap + 0,017891dap^2$	0,9897	7,22
8 (8,69 m ³)	$ht = 0,176997 + 1,380263dap - 0,008929dap^2$	0,9896	6,17
9 (12,86 m ³)	$ht = 0,672604 + 1,112707dap + 0,002462dap^2$	0,9877	5,98
10 (19,00 m ³)	$ht = 0,636125 + 1,118625dap - 0,005810dap^2$	0,9902	6,55
11 (28,01 m ³)	$ht = 0,82288 + 1,049694dap - 0,007435dap^2$	0,9888	6,06
12 (41,25 m ³)	$ht = 0,920345 + 1,018868dap - 0,01164dap^2$	0,9881	7,37

Em que: vol= volume individual em m³; ht= altura total; dap= diâmetro a altura do peito; ; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%)= raiz quadrada do erro médio percentual.

São apresentados na Figura 15 os gráficos de resíduos referente as equações hipsométricas ajustadas para cada espaçamento. Em todos os espaçamentos houve uma ligeira tendenciosidade em tanto subestimar como superestimar os indivíduos de menor altura. Entretanto, os resultados foram considerados eficientes e satisfatórios.

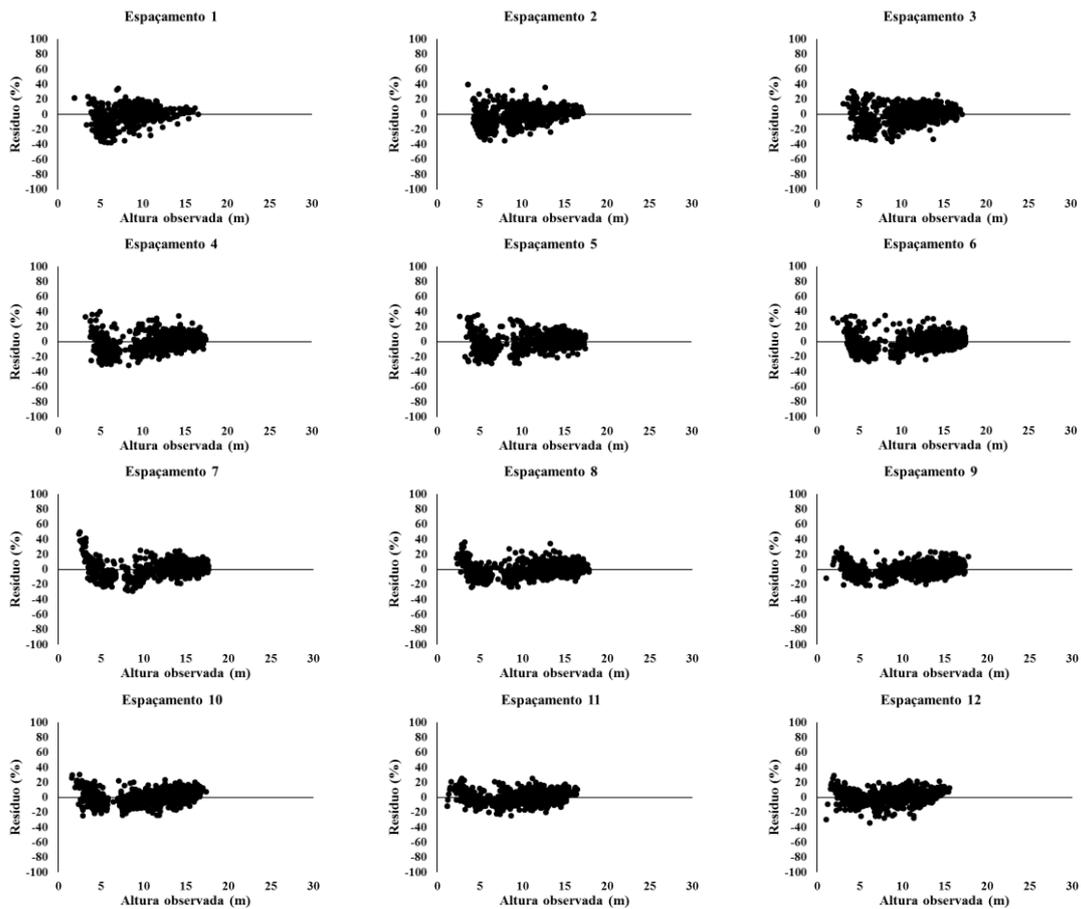


Figura 15. Distribuição de resíduos em relação a variável altura observada, em metros, para cada espaçamento.

O modelo de Trorey, selecionado para estimar a altura total neste estudo, também foi escolhido por Miguel et al. (2010) por apresentar estatísticas precisas e consistentes ao estimar altura total de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* para região norte do Estado de Goiás. Este modelo também apresentou resultados satisfatórios no estudo de Jesus et al. (2015) ao estimar altura de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* localizados na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília.

Azevedo et al. (2017) utilizaram a equação ajustada pelo modelo Trorey para as estimativas das alturas de indivíduos de *Eucalyptus urophylla* sob arranjo 3,1 x 2,0 m no estado do norte de Goiás, e os resultados foram semelhantes aos do presente estudo.

4.2.2 Taper

Os ajustes encontrados para as equações de *taper* ficaram entre 0,9725 a 0,9967, e a RQEM(%) variaram entre 4,07% a 6,59% (Tabela 14).

Tabela 14. Estimativa das equações de *taper* ajustadas para cada espaçamento com suas respectivas estatísticas de precisão.

Espaçamento (área vital)	Equação	$r_{y\hat{y}_i}$	RQEM (%)
1 (0,50 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,515036 - 1,13881 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,335224 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9725	4,77
2 (0,77 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,487984 - 1,177419 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,269492 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9841	7,07
3 (1,17 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,46927 - 1,203271 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,22687 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9907	6,33
4 (1,76 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,463671 - 1,36911 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,0617982 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9922	5,06
5 (2,64 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,54527 - 1,670171 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,159178 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9962	4,07
6 (3,94 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,596919 - 1,893976 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,326097 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9957	4,47
7 (5,86 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,650126 - 2,098029 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,479687 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9997	4,02
8 (8,69 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,656985 - 2,106982 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,465862 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9961	4,79
9 (12,86 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,688904 - 2,143134 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,4630112 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9963	5,08
10 (19,00 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,803384 - 2,496694 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,706686 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9953	6,33
11 (28,01 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,800376 - 2,385523 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,587255 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9951	6,59
12 (41,25 m ³)	$d = \text{dap} \sqrt{1,977182 - 2,925034 \sqrt{\left(\frac{h}{Ht}\right)} + 0,952586 \left(\frac{h}{Ht}\right)}$	0,9967	5,62

Em que: ht= altura total; dap= diâmetro a altura do peito; d= diâmetro tomado ao longo do fuste; h= altura dos diâmetros (d) tomados ao longo do fuste; $r_{y\hat{y}_i}$ = coeficiente de correlação; e RQEM (%)= raiz quadrada do erro médio percentual.

A Figura 16 apresenta os gráficos de dispersão de resíduos percentual em função do diâmetro para cada espaçamento. Não houve tendenciosidade em estimar os diâmetros. A variação do diâmetro aumentou conforme os espaçamentos ficam menos adensados. Este aspecto pode ser atribuído em parte a diminuição da competição dos espaçamentos

menores para os maiores e consequente desempenho individual das árvores, ou seja, em baixa competição ou na ausência da mesma, os indivíduos se expressam de forma independente e as variações de dimensões são função desta independência e não do esforço por competir por recursos quando submetidos a maior competição (HAWLEY; SMITH, 1962)

A compatibilidade do modelo *taper* de Garcia foi também observada no estudo de Campos et al. (2014), onde estudaram a forma de indivíduos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 7 anos de idade na zona da mata de Minas Gerais. Os autores encontraram para a equação ajustada o valor de 0,9813 de coeficiente de determinação e resíduos com baixa tendenciosidade. Silva et al. (2011) avaliaram o desempenho de 12 funções de *taper* para estimativa do diâmetro ao longo do fuste, em diferentes classes de diâmetro e volume total para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, na região do Triângulo Mineiro no Estado de Minas Gerais. Os autores concluíram que o modelo de Garcia foram um dos modelos indicados para estimar diâmetros ao longo do fuste para a espécie e região de estudo.

Com base nos gráficos de dispersão de resíduos e nas estatísticas de precisão, considerou-se que, em todos os espaçamentos, os ajustes das equações hipsométricas, volumétricas e de *taper*, foram precisos e consistentes.

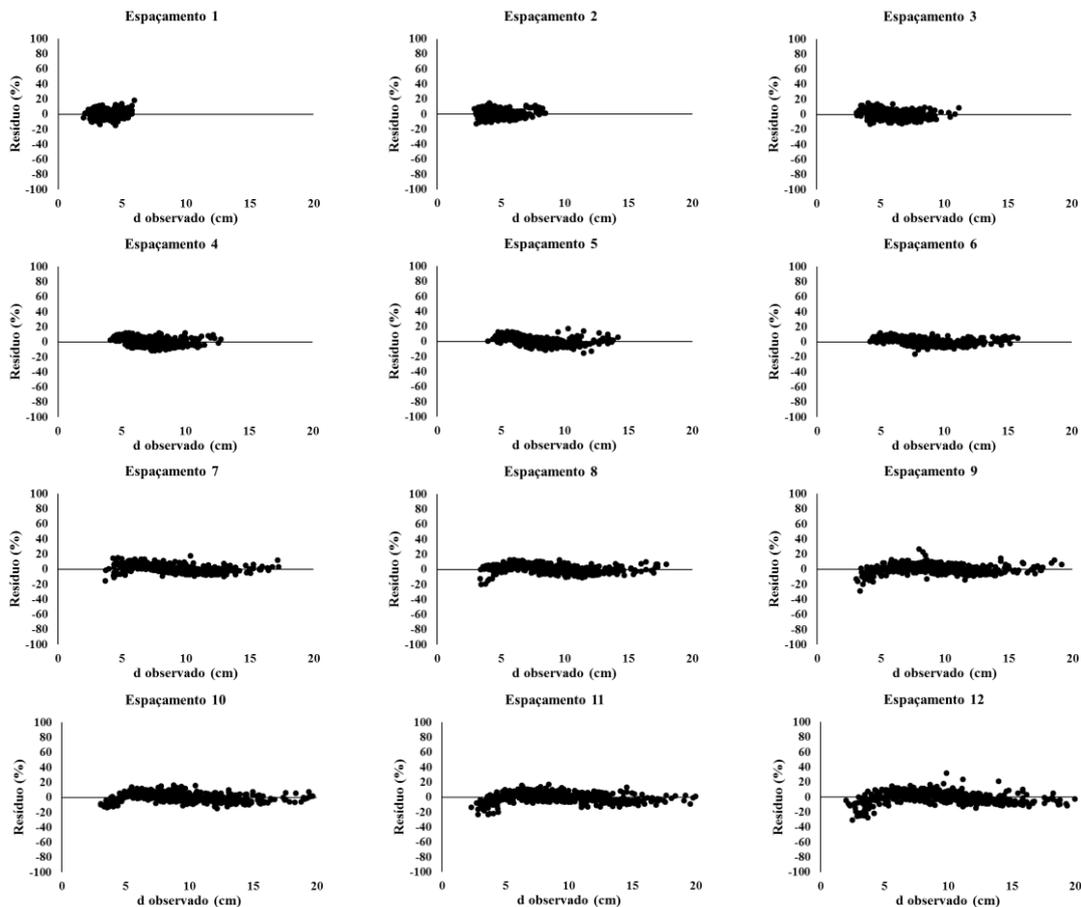


Figura 16. Distribuição de resíduos em relação ao diâmetro observado ao longo do fuste (cm), para cada espaçamento.

4.3 Crescimento e produção do volume por classe diamétrica

Com as equações do sistema de prognose e as equações gerais hipsométricas e da integral de *taper*, foram ajustados para as idades de 12, 24 e 36 meses e prognosticada para 48 meses a distribuição volumétrica por classes diâmetro para cada espaçamento (Figuras 17 a 20). De forma geral, houve crescimento volumétrico em todas idades de todos os espaçamentos. Observou-se, também, que nos espaçamentos 1 e 3 (Figura 17), nas idades de 36 para 48 meses, houve uma expressiva redução no incremento diamétrico. O que difere dos espaçamentos 11 e 12 (Figura 20), que são os mais esparsos.

Na idade de 12 meses as classes com maior volume foram de 3,5 cm de DAP para os espaçamentos 1 e 2, e os outros, iniciaram com 4,5 cm. Quanto aos 24 meses, os espaçamentos 8 ao 12 igualaram com as classes de diâmetro com maior volume, sendo de 10 cm, e os espaçamentos mais adensados tiveram diferentes classes modais de volume. Já aos 36 meses, os espaçamentos 10, 11 e 12 detêm 14,5 cm de DAP. E por fim, no 48°

mês a perspectiva é que os espaçamentos mais amplos (10, 11 e 12) tenham a classe com maior volume de 15,5; 16,5; 17,5, respectivamente.

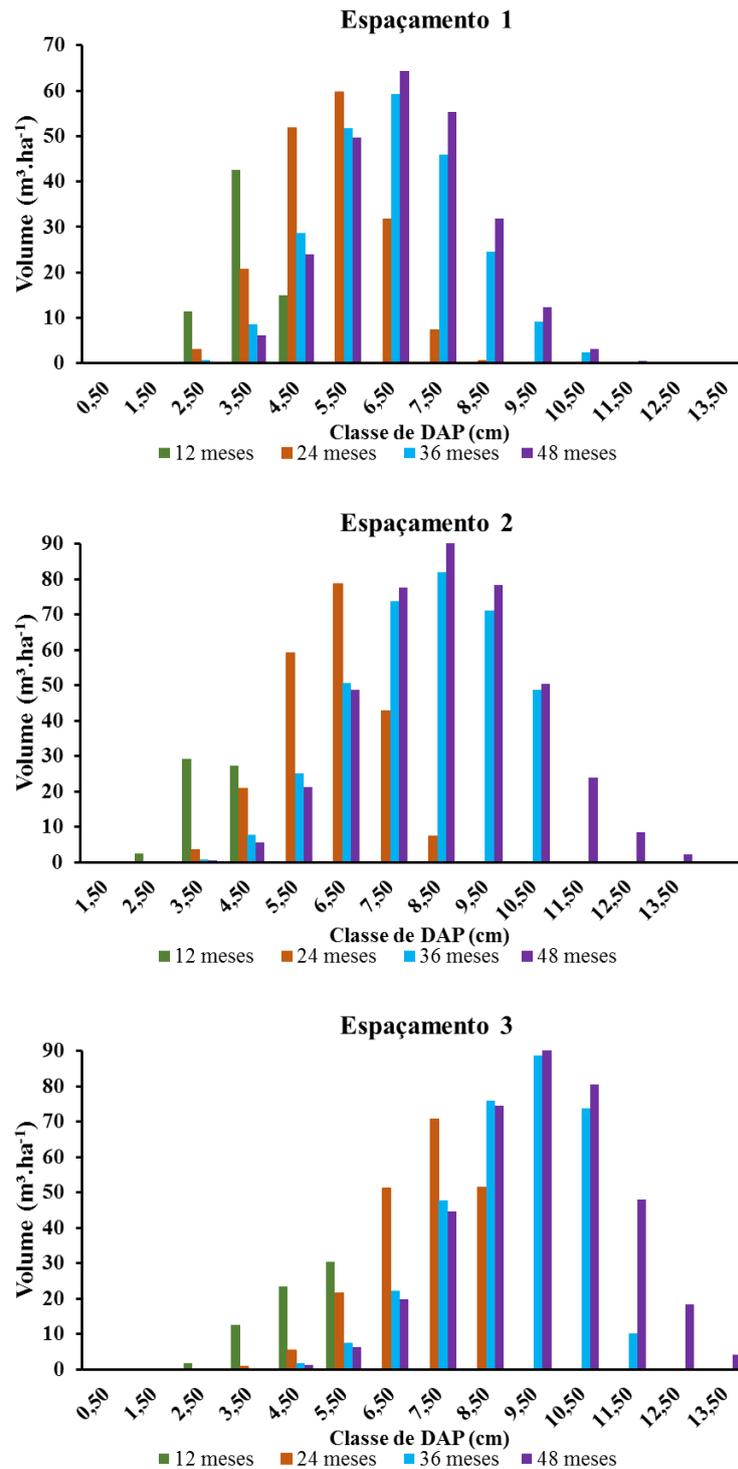


Figura 17. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 1(0,50m²), 2 (0,77m²) e 3 (1,17m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.

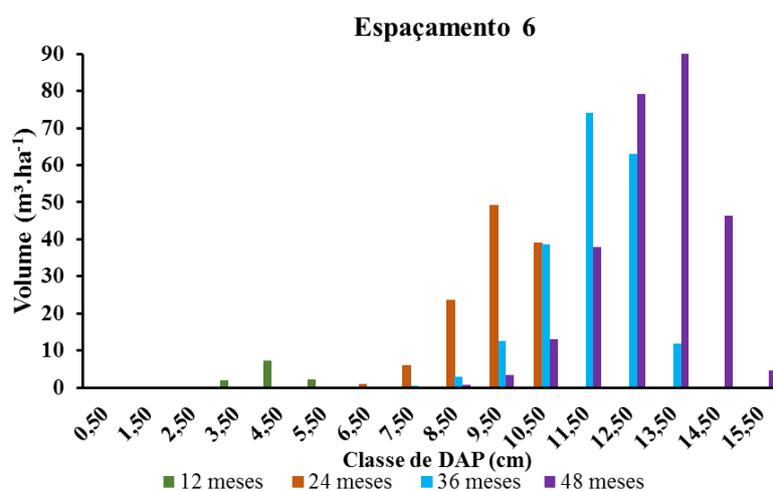
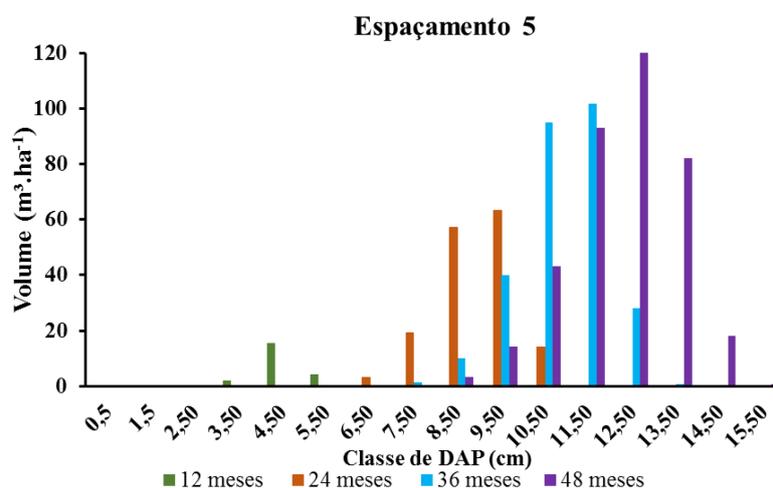
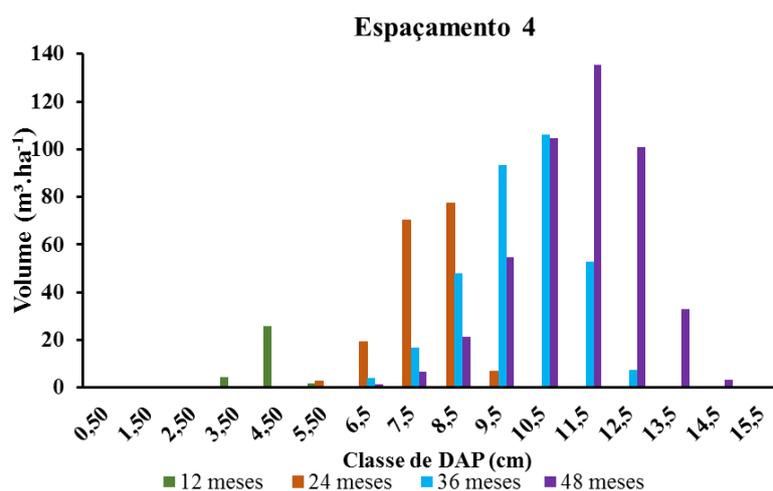


Figura 18. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 4 (1,76m²), 5 (2,64m²) e 6 (3,94m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.

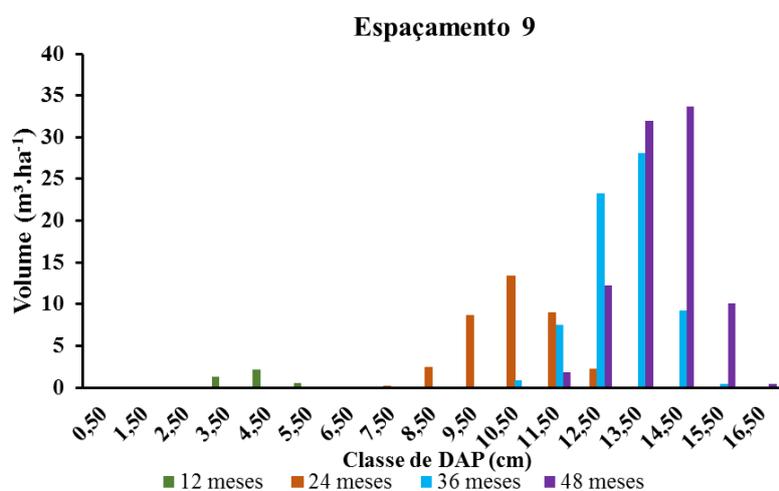
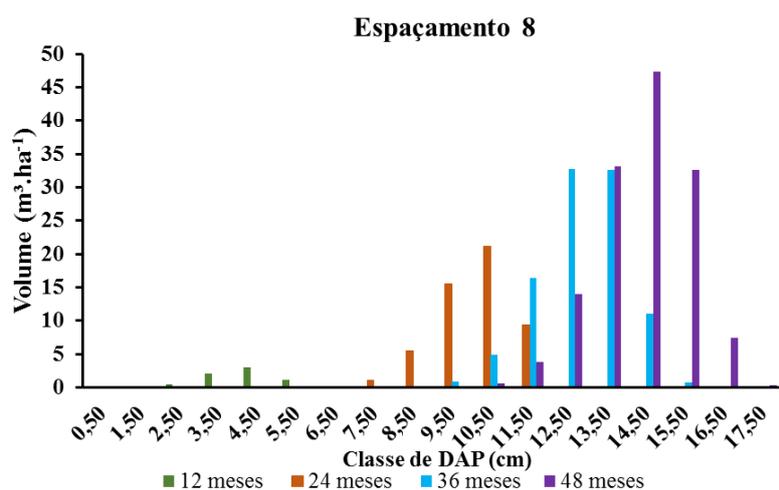
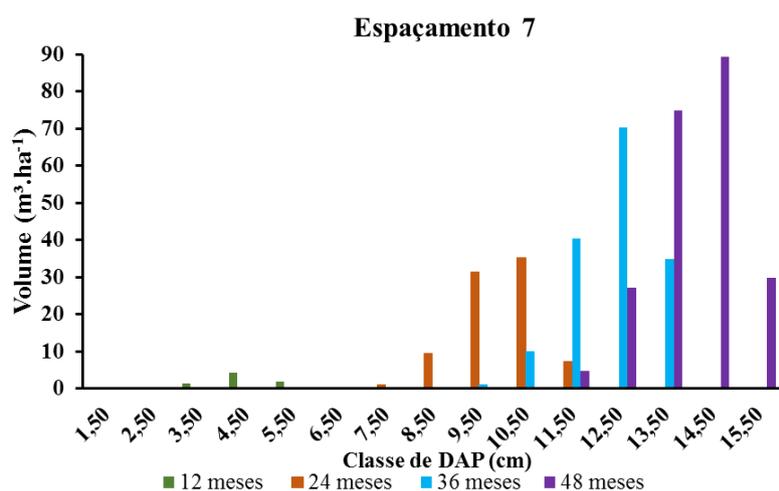


Figura 19. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 7 (5,86m²), 8 (8,69m²) e 9 (12,86m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.

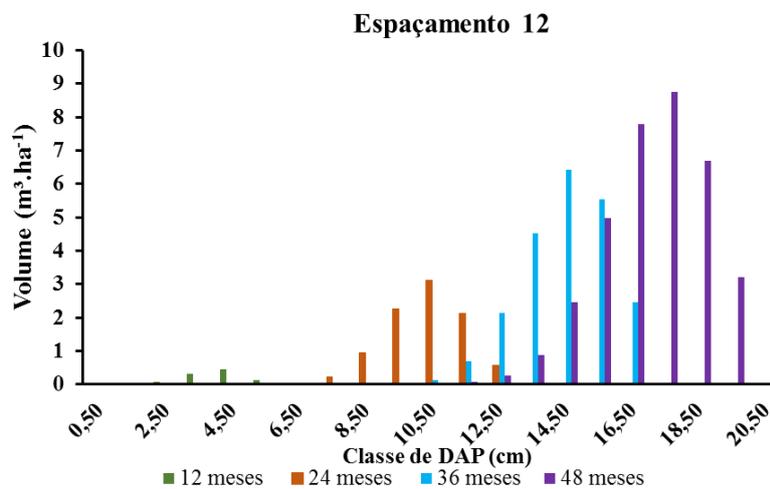
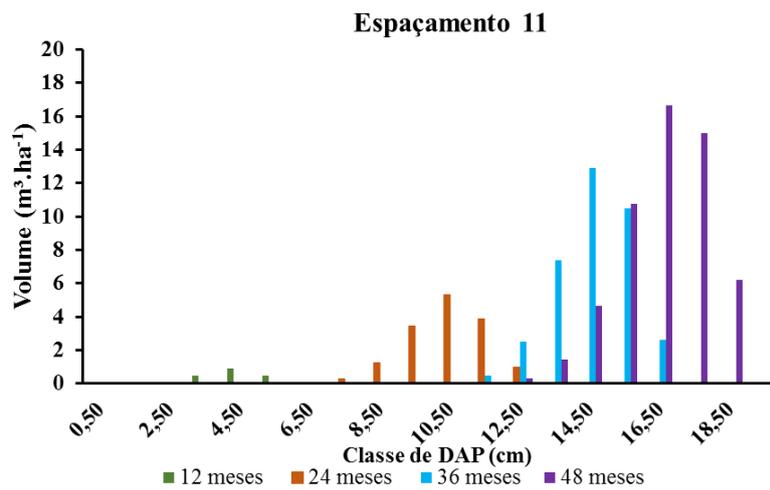
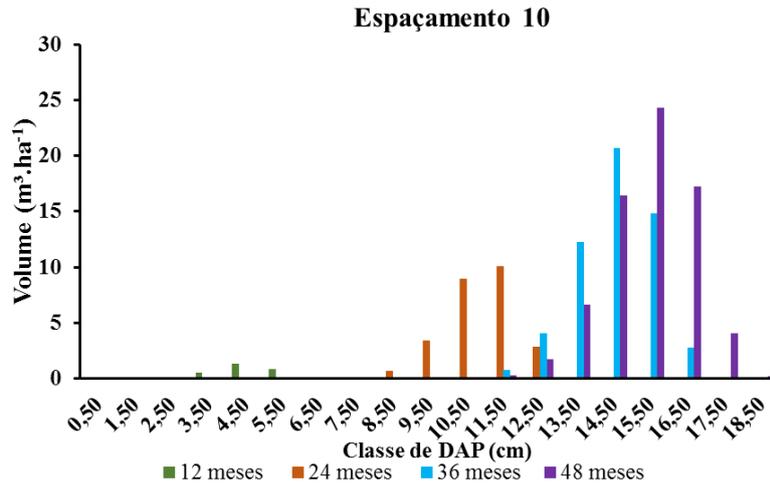


Figura 20. Volume projetado por classe diamétrica nos espaçamentos 10 (19,00 m²), 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades de 12, 24, 36 e 48 meses.

As Figuras 21 ao 24 mostram as curvas de crescimento do Incremento corrente anual (ICA) e o Incremento médio anual (IMA) para cada espaçamento, nas idades entre 12 e 48 meses. Observou-se que, para os espaçamentos 1 ao 3, 9 e 10 correu o cruzamento das curvas de ICA e IMA, sendo, pouco depois de 24 meses para o espaçamento 1, depois de 36 meses para o espaçamentos 2 e 3, e próximo aos 48 meses para os espaçamentos 9 e 10.

O ponto das curvas onde o ICA se iguala a IMA indica a máxima produtividade volumétrica para um povoamento florestal. Do ponto de vista biológico esta é a idade recomendada para colher a floresta, também chamada de idade silvicultural de corte ou idade técnica de corte (CAMPOS; LEITE, 2017). Sendo assim, no presente estudo, a idade técnica de corte do povoamento do espaçamento 1 é aos 24 meses, do espaçamento 3 seria aos 36 meses e o 9 e 10, aos 48 meses.

Entretanto, o manejador deve se atentar quanto a sustentabilidade do empreendimento, pois regimes de curta rotação contribuem com o aumento da exportação de nutrientes, elevando o maior custo com correção e adubação do solo (ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). Também, reduz o ciclo de colheita, aumentam o tráfego de máquinas pesadas que podem desestruturar e compactar o solo (ANDRADE, 2004).

Hawley (1962) descrevem que florestas excessivamente densas ou muito espaçadas são prejudiciais quando o estoque de madeira é o objetivo final. Uma floresta com alta densidade de indivíduos, a produção madeireira é alta no início no ciclo, mas são distribuídas em muitas árvores. No caso de espaçamentos mais largos, os indivíduos podem não ter capacidade fisiológica de assimilar todo o recurso disponível, resultando em subutilização do local.

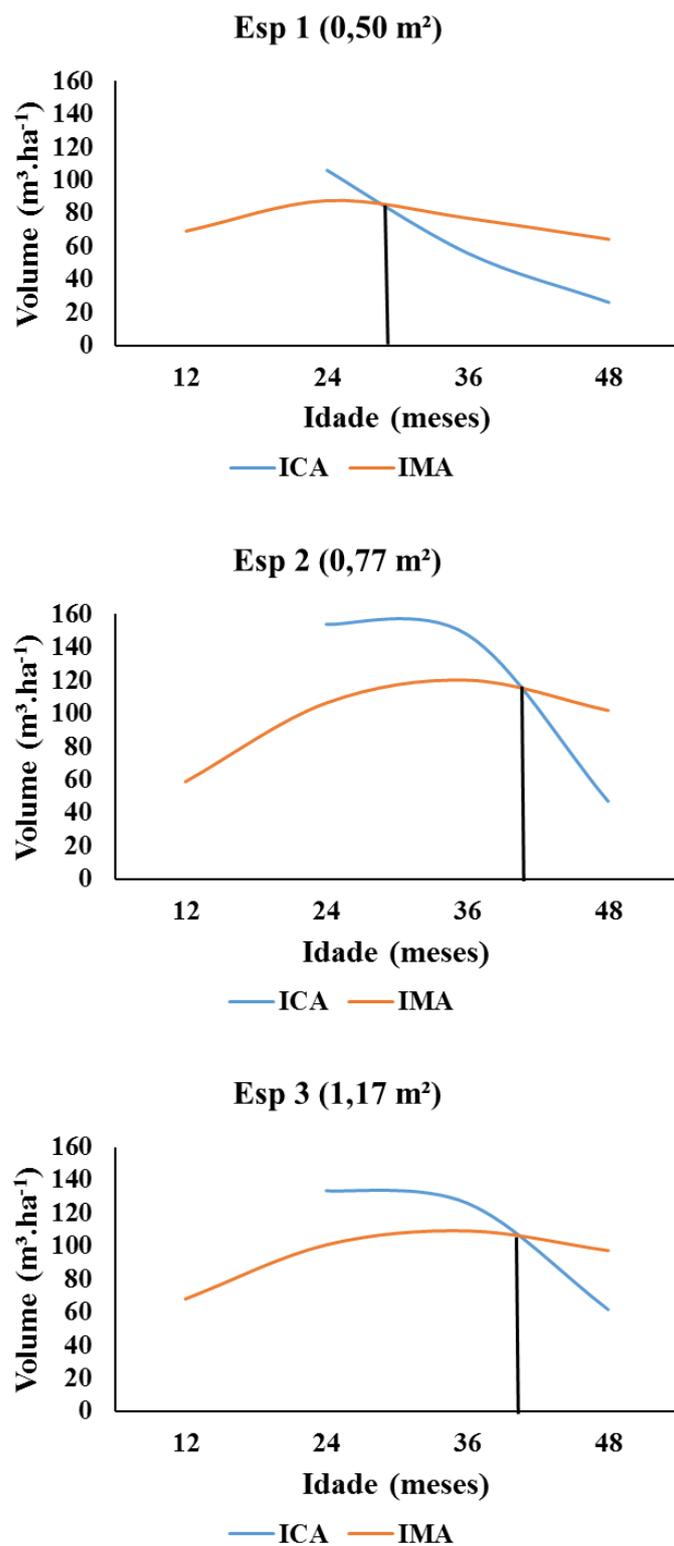


Figura 21. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 1(0,50m²), 2 (0,77m²) e 3 (1,17m²) dos períodos 12º ao 48º mês.

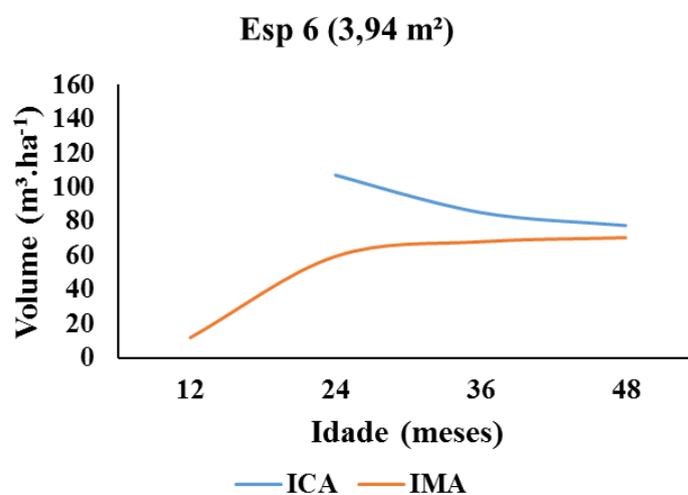
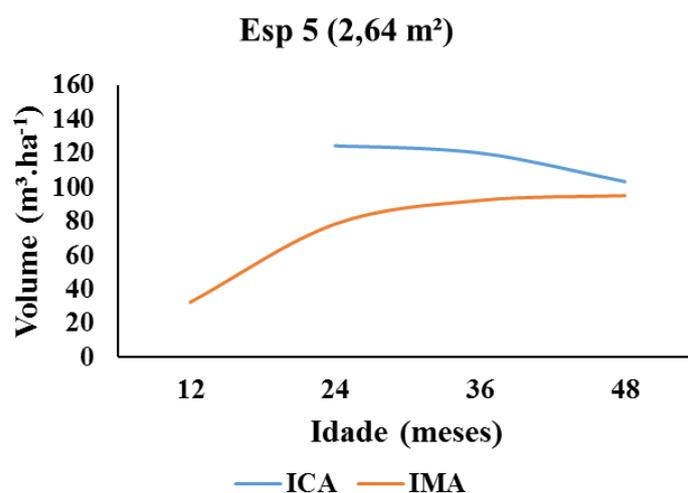
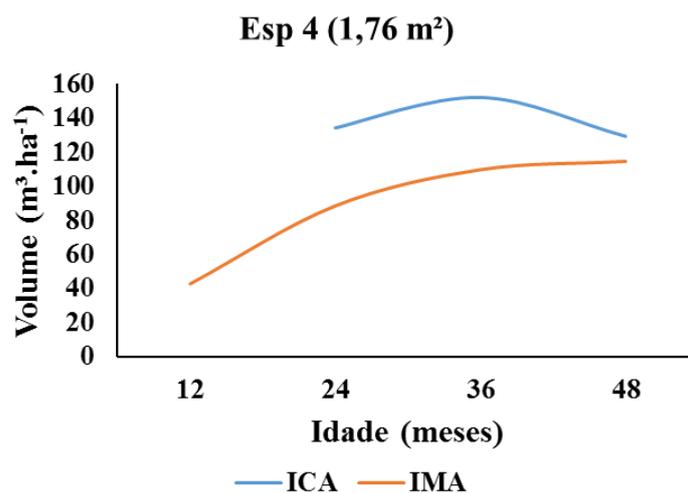


Figura 22. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 4 (1,76m²), 5 (2,64m²) e 6 (3,94m²) dos períodos 12° ao 48° mês.

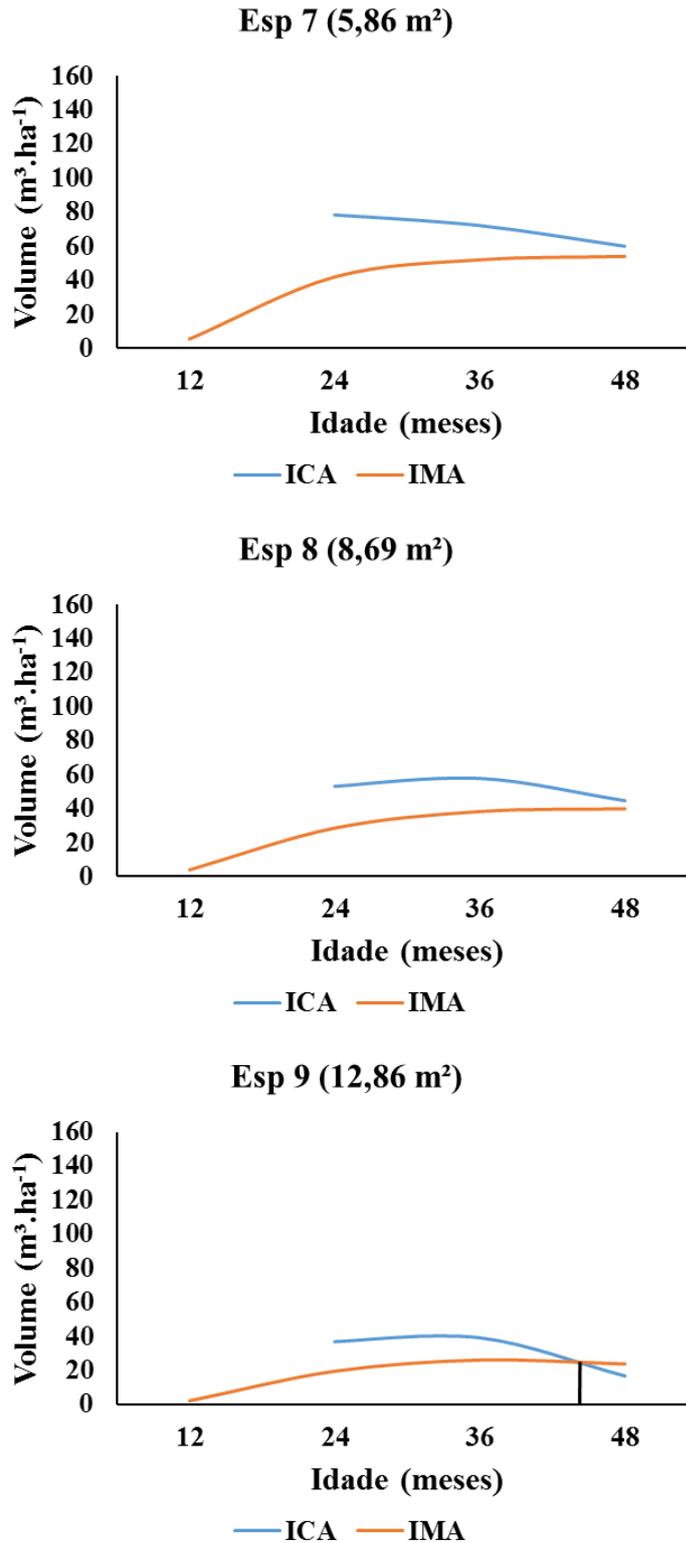


Figura 23. Curvas de crescimento do Incremento Corrente Anual (ICA) e o Incremento Médio Anual (IMA) para os espaçamentos 7 (5,86m²), 8 (8,69m²) e 9 (12,86m²) dos períodos 12° ao 48° mês.

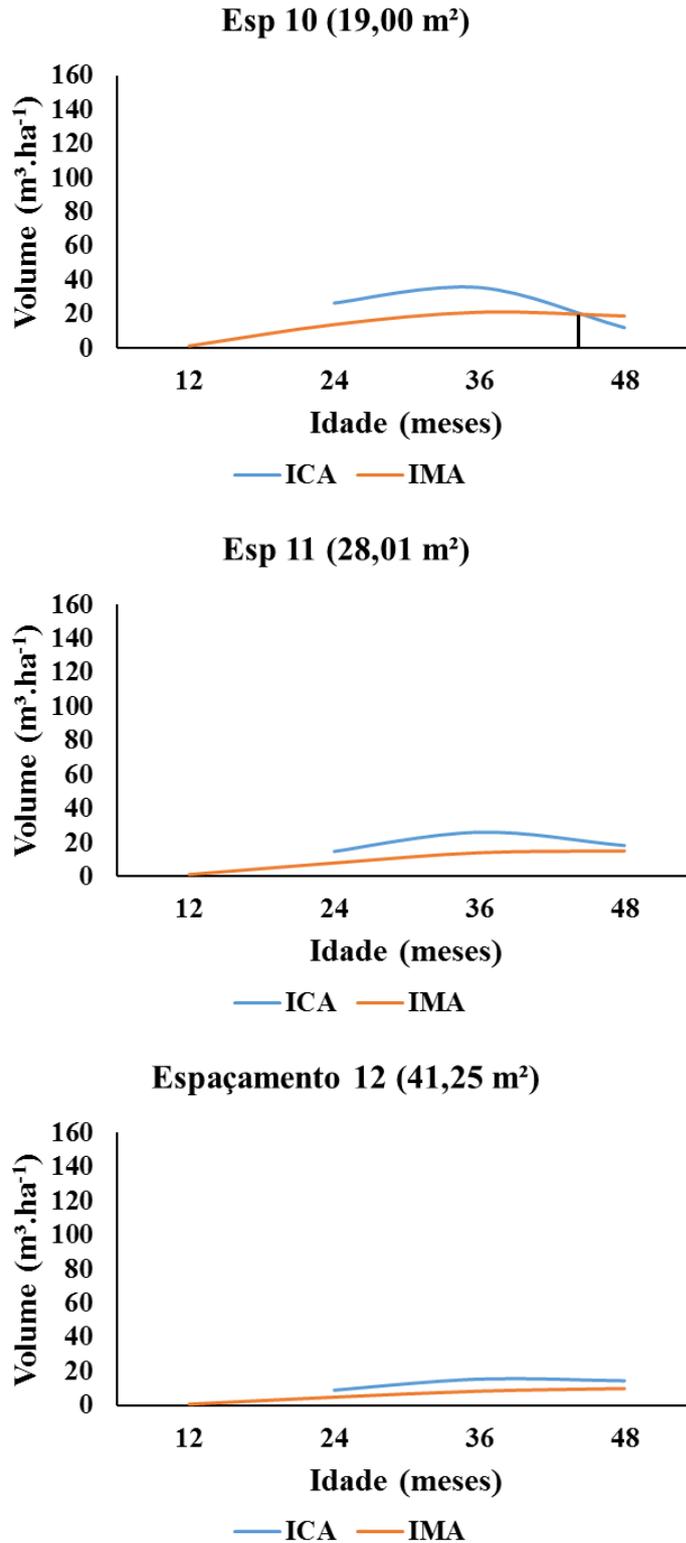


Figura 24. Curvas de crescimento do Incremento corrente anual (ICA) e o Incremento médio anual (IMA) para os espaçamentos 10 (19,00 m²), 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²) dos períodos 12^o ao 48^o mês.

5.3 Sortimentos

Na Figura 25. são apresentados os produtos possíveis de serem gerados (cenário I) em cada espaçamento, para os 36 e 48 meses. De forma geral, o espaçamento influenciou na quantidade de toras geradas de cada produto para as duas idades, sendo crescente do espaçamento mais amplo ao mais adensado. Este fato pode ser explicado pela densidade de indivíduos que foram plantados, que varia entre 20.000 árvores por hectare no mais adensado a 242 árvores por hectare no mais amplo, afetando no grau de competição, que conseqüentemente acelera o processo de estocagem de volume por hectare.

Quanto aos produtos gerados, a lenha foi predominante em todos os espaçamentos e nos dois períodos analisados. A causa deste fato é por se tratar de um povoamento jovem e o produto lenha detém das menores dimensões.

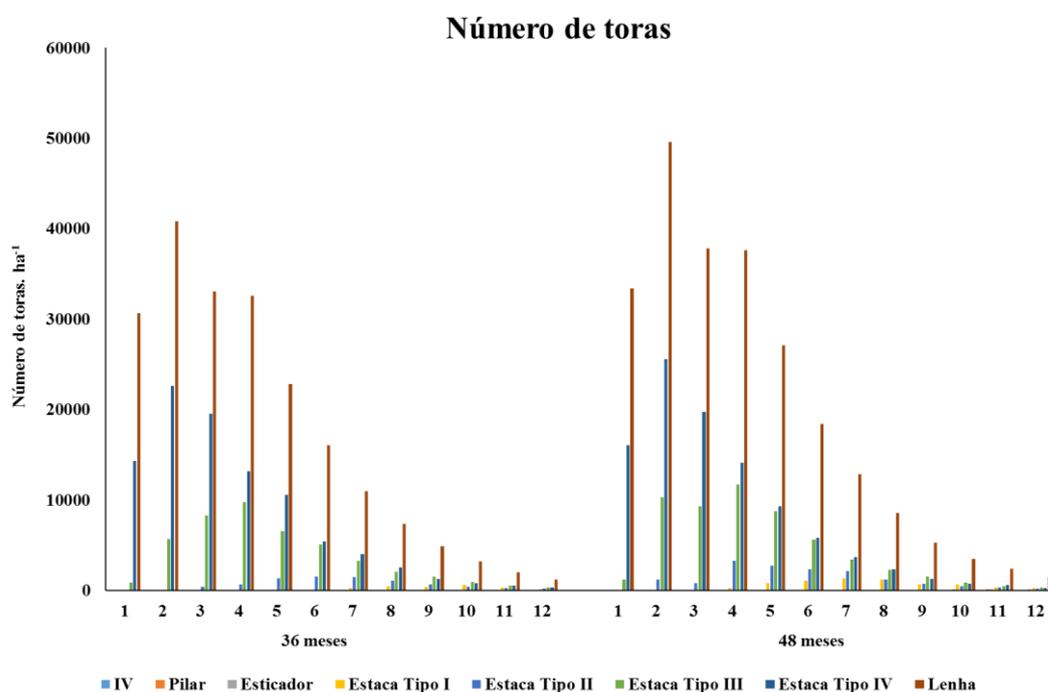


Figura 25. Número de produtos gerados para cada espaçamento nas idades 36 e 48 meses.

As Figuras 26, 27 e 28 apresentam a contribuição do volume em percentual de cada produto encontrado. Nota-se que, nas idades 36 e 48 meses, para os espaçamentos 1, 2 e 3, o volume de madeira da estaca tipo IV detém do maior percentual do volume total. Já para os espaçamentos 4 ao 9, aos 36 meses, o multiproduto que representa a maior parcela do volume total é a Estaca tipo III. Para os espamentos 10, 11 e 12, aos 36 meses,

o multiproduto Estaca tipo I detém da maior parcela do volume. Aos 48 meses, o multiproduto que representa o maior percentual do volume total foi a Estaca tipo III, para os espaçamentos 4 ao 7, e Estaca tipo I, para os espaçamentos 8 ao 12. De maneira geral, observou-se um aumento dos possíveis produtos com o avanço a idade e do espaço entre as plantas. Os valores detalhados dos produtos gerados de cada espaçamento são encontrados no ANEXO II.

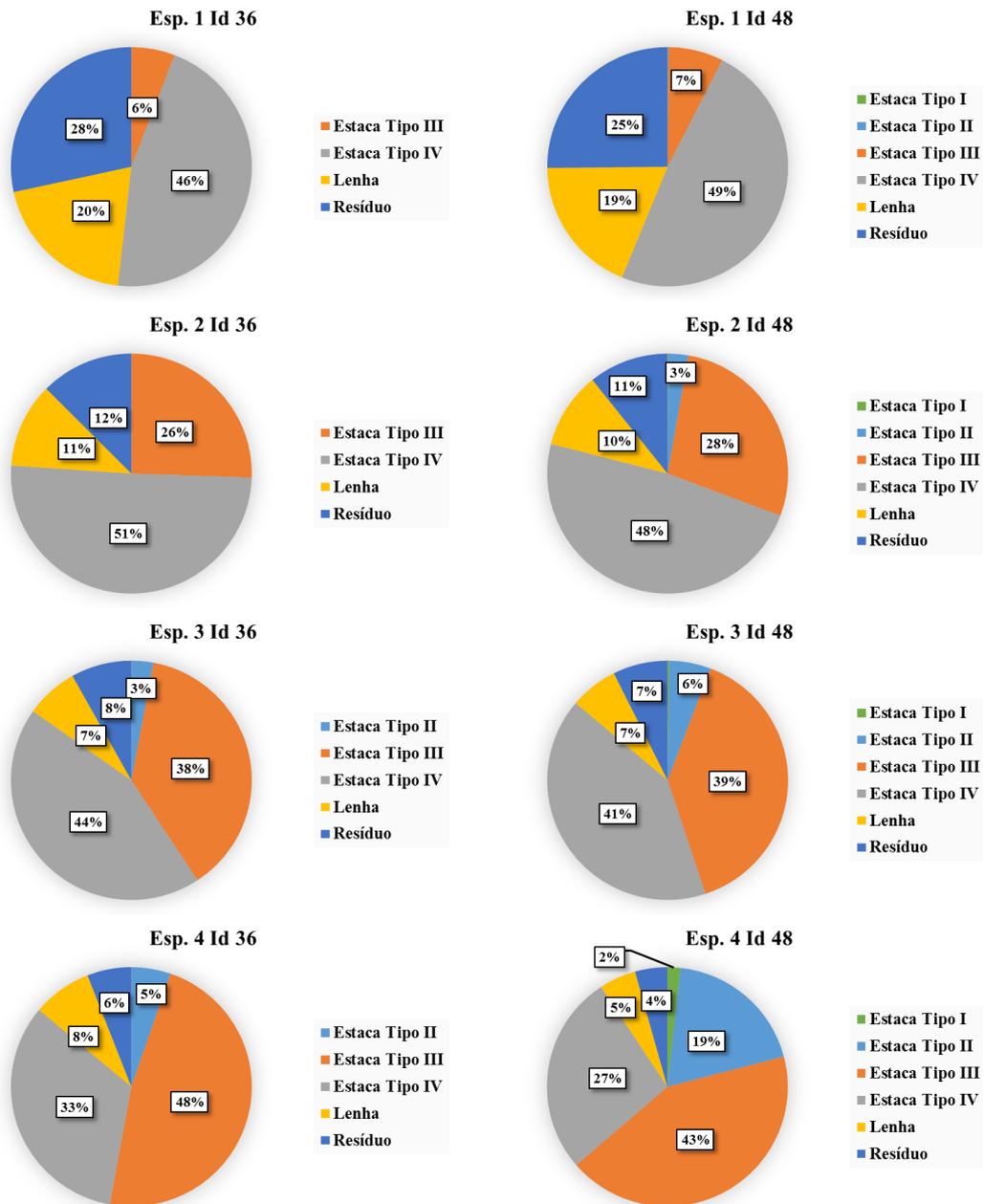


Figura 26. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 1(0,50m²), 2 (0,77m²), 3 (1,17m²) e 4 (1,76m²) de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades 36 e 48 meses.

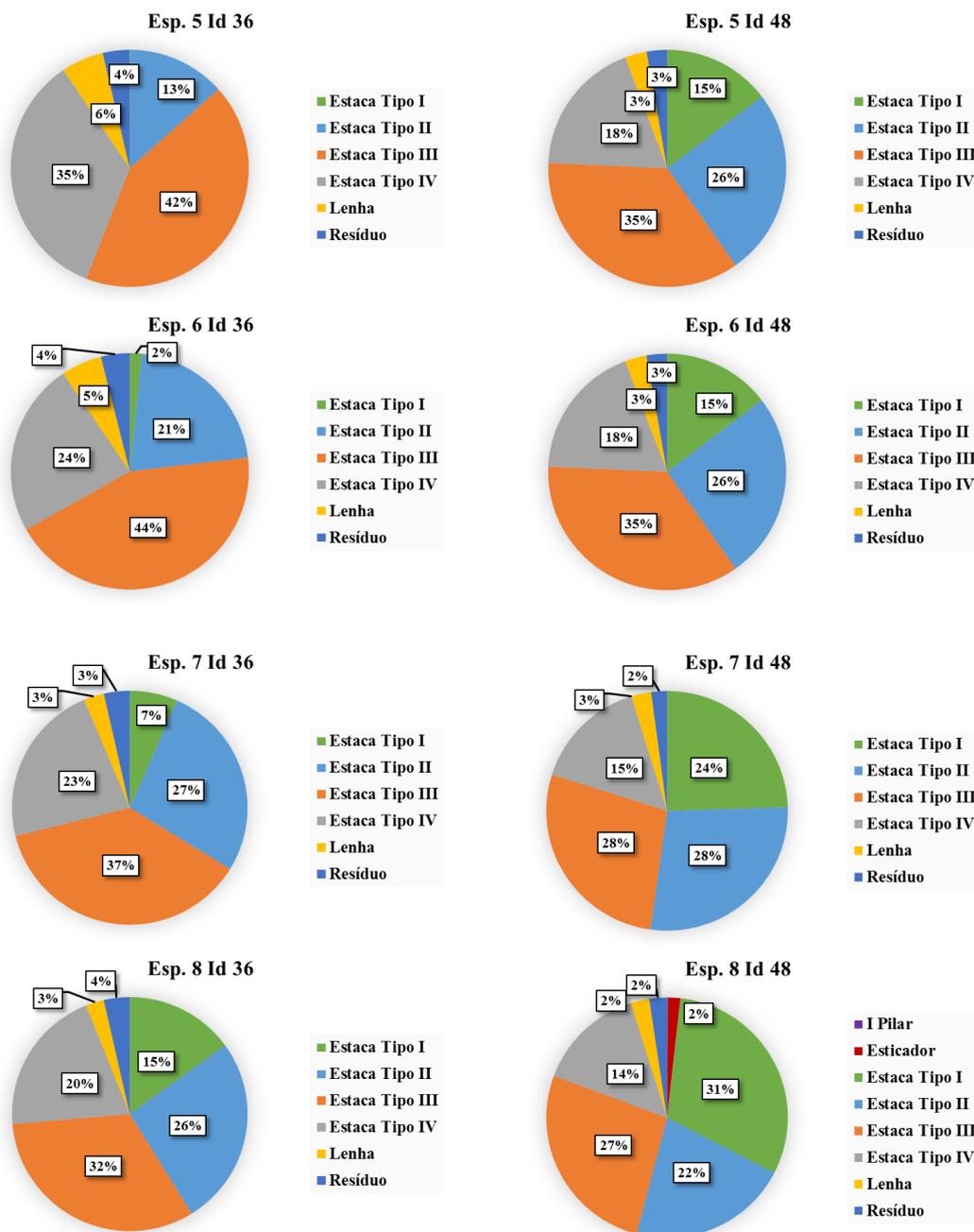


Figura 27. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 5 (2,64m²), 6 (3,94m²), 7 (5,86m²) e 8 (8,69m²) e de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades 36 e 48 meses.

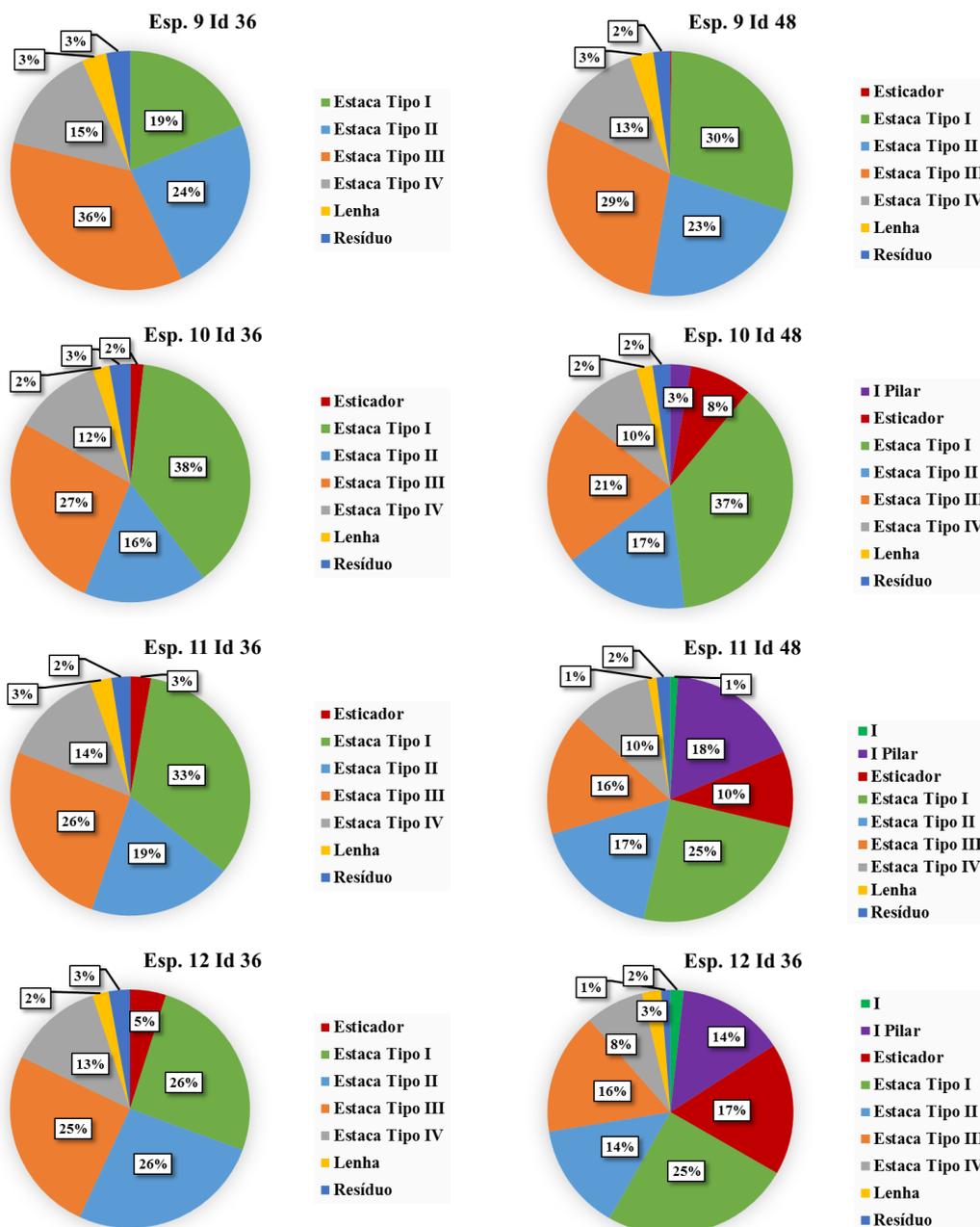


Figura 28. Percentual do volume de cada multiproduto nos espaçamentos 9 (12,86m²), 10 (19,00 m²), 11 (28,01 m²) e 12 (41,25 m²) e de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* nas idades 36 e 48 meses.

A Tabela 15 mostra o resultado no Cenário II, apresentando o volume disponível para a conversão do povoamento em toras de lenha para cada espaçamento em cada idade. Os espaçamentos com maiores volumes foram os espaçamentos 2 e 4, respectivamente, para os dois períodos analisados.

Em relação a quantidade de madeira não aproveitada (resíduos), observou-se uma diminuição dos espaçamentos mais adensados para mais amplos e de uma idade para

outra. Os espaçamentos com maior percentual de resíduos foram 1 (31,68%), 2 (27,68%) e 3 (16,71%), em ordem decrescente.

Frente ao apresentado, os Cenários I e II apresenta potencial de diferentes usos da floresta, porém, para escolher o melhor cenário ou espaçamento ideal, o manejador ou produtor deve se atentar as questões mercadológicas de viabilidade econômica, ou seja, previamente verificar se existe demanda por esse tipo de produto no ano de colheita, analisar o preço, produto da concorrência e levantar todos os custos de implantação, manutenção, colheita e transporte do produto florestal.

Os espaçamentos mais adensados geraram maiores estoques volumétricos, porém, para os espaçamentos 1, 2 e 3, foi observado alta mortalidade dos indivíduos, sendo de 30,47%, 13,33% e 8,41%, respectivamente, gerando perdas de investimento com o custo mudas, adubação, preparo do solo e pesticidas. Além do alto percentual de resíduos gerados e a dificuldade de mecanização, o que pode inviabilizar a implantação do povoamento. Frente aos resultados analisados, o espaçamento adequado para condução do povoamento de curta duração é o 4 (1,76 m²).

Tabela 15. Volume projetado ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) para cada espaçamento nas idades 36 e 48 meses.

Espaçamento	Idade (meses)	Volume total ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Resíduo ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)	Volume de lenha ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
1	36	198,66	62,93	135,73
	48	210,75	58,33	152,42
2	36	294,18	49,21	244,97
	48	379,86	41,76	338,10
3	36	276,49	35,72	240,77
	48	295,59	33,61	261,98
4	36	261,33	18,69	242,64
	48	339,38	19,94	319,44
5	36	225,21	10,72	214,49
	48	294,05	12,42	281,63
6	36	175,51	7,69	167,82
	48	230,44	7,87	222,57
7	36	133,91	5,74	128,17
	48	186,11	1,44	184,67
8	36	99,48	4,06	95,42
	48	137,53	3,79	133,74
9	36	69,18	2,53	66,65
	48	88,53	2,09	86,44
10	36	58,03	1,86	56,17
	48	67,70	1,73	65,97
11	36	36,76	1,23	35,53
	48	52,89	1,11	51,78
12	36	22,19	0,72	21,47
	48	34,11	0,48	33,63

6.CONCLUSÕES

- As equações hipsométricas, de *taper* e do sistema de projeção foram todas precisas e consistentes para todos os espaçamentos.
- A idade técnica de corte do povoamento do espaçamento 1 é aos 24 meses, do espaçamento 2 e 3 é aos 36 meses e para os espaçamentos 9 e 10, aos 48 meses; Quanto aos outros espaçamentos, ainda não foi definido a idade técnica de corte.
- Os espaçamentos 2 e 4 são os mais adequados para regime de curta duração, com área vital de 0,77 e 1,76 m^2 por planta, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, M. L. C. **Efeito do maquinário de colheita florestal na compactação do solo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, 2004.
- AQUINO, P. S. R. **Crescimento inicial de eucalipto em função do espaçamento utilizando delineamento sistemático tipo “leque”**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília–DF, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R.; MIRANDA, R. O. V.; CASTRO, R. V. O.; PELLI, E. Projeção da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto em diferentes amplitudes de classe. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 45, n. 11, p. 1275–1281, 2010.
- AZEVEDO, G. B.; OLIVEIRA, E. K. B.; AZEVEDO, G. T. O. S.; BUCHMANN, H. M.; MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V. Modelagem da produção em nível de povoamento e por distribuição diamétrica em plantios de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 1–7, 1 jun. 2016.
- BAILEY, R. L.; DELL, R. Quantifying Diameter Distributions with the Weibull Function. **Forest Sciences**, v. 19, n. 2, p. 97–104, 1972.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos de eucalipto utilizando a função logística generalizada. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 707–711, 2015.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Projeção da Distribuição Diamétrica de Povoamentos Equiâneos Utilizando a Função Nakagami e Weibull. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 5, n. 2, p. 103–110, 2014.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; SILVA, A.; SANTOS, A. C. A. Modeling the diameter distribution of thinned eucalyptus stands using a cellular automata. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 931–939, 2012.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. da. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 34, n. 1, p. 147–156, fev. 2010.
- CAMPOS, B. P. F.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. L. M. D. S. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos Effect of taper model used on the conversion of trees in boles into multiproducts. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 513–520, 2014.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.
- CASTRO, R. V. O.; BRUZINGA, J. S.; MOTA, F. C. M.; AZEVEDO, G. T. O. S.; AZEVEDO, G. B.; LEITE, H. G.; SILVA, A. A. L. Procedimentos de ajuste da função

weibull para prognose da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 4, p. 528–534, 2017.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons, 1983.

GIBBONS, J. D.; SUBHABRATA, C. **Nonparametric Statistical Inference**. 3th. ed. New York: Marcel Dekker. (Statistics: textbook and monograph, v.31), 1992.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. John Wiley ed. New York -London: John Wiley & Sons, 1962.

JESUS, C. M.; MIGUEL, E. P.; AZEVEDO, G. B.; AZEVEDO, G. T. D. O. S.; PEREIRA, R. S. Modelagem hipsométrica em povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* no Distrito Federal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1298–1308, 2015.

LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C. **Mensuração florrestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 2017.

LEITE, H. G.; ALCÂNTARA, A. E. M.; BINOTI, D. H. B.; OLIVEIRA NETO, R. R.; SILVA, M. L. M. Comparação entre predição e projeção da distribuição de diâmetros de povoamentos de eucalipto submetido a desbastes. **Revista Arvore**, v. 37, n. 2, p. 321–328, 2013.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamento de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 271–280, abr. 2005.

LOPES, P. F. **Modelo de distribuição de diâmetros para clones de eucalipto em sistema agroflorestal**. 2007. Universidade Federal de Viçosa, Programa de pós graduação, 2007.

LUSTOSA JÚNIOR, I. M.; LIMA, M. B. O.; NASCIMENTO, B. G.; JUNIOR, M. S. de M.; CASTO, R. V. de O. Revista de Agricultura Neotropical Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *Eucalyptus* não desbastado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. suplemento 1, p. 59–65, 2017.

MENDONÇA, A. R. de; SILVA, G. F. da; ARCE, J. E.; MAESTRI, R. Avaliação de um sistema para otimização do sortimento de *Eucalyptus* sp. **Ciências Florestais**, v. 18, n. 2, p. 247, 30 jun. 2008.

MICROSOFT CORPORATION. **Excel software**, 2016. .

MIGUEL, E. P.; MACHADO, S. D. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* stands. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 94–104, 2010.

MORAES, M. A. De; MORAES, S. M. B. de; SILVA, E. C. B. da; KUBOTA, T. Y. K.; SILVA, A. M.; RESENDE, M. D. V. de; MORAES, M. L. T. de. Variação genética em progênie de *Jacaranda cuspidifolia* Mart. utilizando o delineamento sistemático tipo “leque”. **Scientia Florestalis**, v. 41, n. 98, p. 175–183, 2013.

NELDER, J. A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. **International Biometric Society**, v. 18, n. 3, p. 283–307, 1962.

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**, v. 29, n. 4, p. 1–12, 2005.

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**, v. 29, n. 4, p. 579–589, ago. 2005.

ODA-SOUZA, M.; BARBIN, D.; RIBEIRO JR, P. J.; STAPE, J. L. Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 499–509, 2008.

ODA, M. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um ensaio de espaçamento florestal em delineamento sistemático tipo leque**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba SP, 2005.

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

PENNER, M.; ROBINSON, C.; BURGESS, D. *Pinus resinosa* product potential following initial spacing and subsequent thinning. **The Forestry Chronicle**, v. 77, n. 1, p. 129–139, fev. 2001.

RETSLAFF, F. A. de S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Prognose do crescimento e da produção em classes de diâmetro para povoamentos desbastados de *Eucalyptus grandis* no sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p. 719–732, 2012.

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

SANTOS, F. R. **Caracterização dendrométrica e avaliação econômica de povoamentos de eucalipto para multiprodutos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

SANTOS, M. dolores. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, Botucatu – SP, 2011.

SANTOS, F. L. dos. **Regulação da produção de floresta de eucalipto submetida a desbaste e destinada a multiprodutos**. 2008. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa-MG, 2008.

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

SILVA, F.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 367–376, 2011.

SOARES, T. S.; VALE, A. B. do; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003.

STAPE, J. L.; BINKLEY, D. Insights from full-rotation Nelder spacing trials with *Eucalyptus* in São Paulo, Brazil. **South. For**, v. 72, n. 2, p. 91–98, 2010.

STATSOFT, I. **STATISTICA (data analysis software system)**, 2004. . Disponível em: <www.statsoft.com>.

VANCLAY, J. K.; LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; CAMERON, D. M. Spatially explicit competition in a mixed planting of *Araucaria cunninghamii* and *Flindersia brayleyana*. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 6, p. 611–619, 12 set. 2013.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 843–852, out. 2004.

ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	r_{yy_i}	RANKING	Dcal	dtab	
2	1	Normal	2,9682	0,6050							2,99	3,68	0,999	2	0,028ns	0,1327	
		Weibull 3p				1,0000	2,0951	4,9600				4,15	5,75	0,996	3		0,039ns
		Gama				32,1914	0,0881					51,77	52,88	0,857	4		0,493ns
		SB jonhson				4,0153		-1,7027	1,4258	-0,1633		52,51	57,11	0,999	5		0,5ns
		Dagum			0,1139	45,1717	3,3648					67,81	70,94	0,843	1		0,646ns
8	2	Normal	2,9682	0,6050							2,99	3,68	0,999	2	0,028ns	0,1327	
		Weibull 3p				1,0000	2,0951	4,9600				4,15	5,75	0,996	1		0,039ns
		Gama				32,1914	0,0881					51,77	52,88	0,857	3		0,493*
		SB jonhson				4,0153		-1,7027	1,4258	-0,1633		52,51	57,11	0,999	4		0,5*
		Dagum			0,1139	45,1717	3,3648					67,81	70,94	0,843	5		0,646*
8	3	Normal	2,8949	0,7005							13,56	13,64	0,857	2	0,127ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,2275	3,0305	4,6282				4,08	6,86	0,967	1		0,038ns
		Gama				37,8624	0,0848					38,97	38,36	0,994	3		0,364*
		SB jonhson				6,9746		-2,4092	1,2407	-3,0305		53,24	52,55	0,983	4		0,498*
		Dagum			0,1121	29,9013	3,6758					49,58	50,54	0,999	5		0,463*
8	4	Normal	3,0304	0,6527							9,23	10,59	0,923	2	0,086ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,0001	3,3209	5,4865				3,03	4,98	0,985	1		0,028ns
		Gama				21,5535	0,1406					56,63	54,92	0,830	5		0,529*
		SB jonhson				8,8818		-3,1550	1,5579	-4,6760		46,47	48,47	0,990	3		0,434*
		Dagum			0,2012	22,9336	3,7084					47,71	49,94	0,992	4		0,446*
8	5	Normal	3,2836	0,6450							11,55	18,26	0,988	2	0,108ns	0,1327	
		Weibull 3p				1,1026	2,1663	3,0044				8,07	13,07	0,771	1		0,075ns
		Gama				18,3624	0,1599					56,55	55,14	0,497	5		0,528*
		SB jonhson				3,3959		-1,0885	0,7789	0,4075		39,02	42,64	0,993	4		0,365*
		Dagum			0,0946	50,6793	3,6830					37,01	43,46	0,995	3		0,346*
8	6	Normal	2,2264	0,7567							32,74	37,97	0,381	3	0,309*	0,1327	
		Weibull 3p				0,5000	2,5738	3,7090				4,55	7,64	0,958	1		0,043ns
		Gama				8,6575	0,2572					33,24	42,28	0,234	4		0,314*
		SB jonhson				-		-	-	-		-	-	-	5		-
		Dagum			0,0567	46,8909	3,1850					29,70	34,42	0,307	2		0,28*

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ε	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
8	7	Normal	2,6357	0,8259							53,67	57,10	0,875	5	0,511*	0,1327	
		Weibull 3p				0,4287	2,5594	3,0045				5,91	9,62	0,903	1		0,056ns
		Gama				33,6537	0,0904					18,81	20,84	0,988	4		0,179*
		SB jonhson				130,7758		-8,4855	1,7888	-126,7591		5,85	9,91	0,984	2		0,056ns
		Dagum			0,1628	24,0831	3,4517					8,12	10,70	0,999	3		0,077ns
8	8	Normal	2,4398	0,8518							8,76	9,14	0,898	4	0,081ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,1482	2,6507	2,9420				5,59	7,66	0,928	2		0,052ns
		Gama				8,2045	0,2974					11,61	14,09	0,797	5		0,107ns
		SB jonhson				5,1982		-1,2605	1,0660	-1,3646		6,43	6,47	0,988	3		0,06ns
		Dagum			0,0690	30,2963	3,4849					3,57	5,24	0,965	1		0,033ns
8	9	Normal	2,3575	0,7006							3,62	3,80	0,991	3	0,034ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,2934	2,3593	3,2815				2,43	3,97	0,987	2		0,023ns
		Gama				11,3241	0,2082					7,99	8,24	0,953	5		0,075ns
		SB jonhson				11,4205		-3,7263	2,4631	-6,9153		2,17	2,41	0,997	1		0,02ns
		Dagum			0,1511	17,2877	3,1723					5,24	6,26	0,988	4		0,049ns
8	10	Normal	0,0000	0,0000							0,13	8,44	0,942	2	0,08ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,4974	2,1479	2,9821				6,00	7,39	0,953	1		0,057ns
		Gama				8,7185	0,2700					13,66	14,34	0,819	3		0,129ns
		SB jonhson				4,7030		-1,3114	0,9599	-1,1994		26,40	25,57	0,895	5		0,249*
		Dagum			0,0413	51,4444	3,3563					16,17	18,11	0,888	4		0,153*
8	11	Normal	2,3739	0,7849							53,73	71,21	0,987	5	0,507*	0,1327	
		Weibull 3p				0,0000	2,5152	2,9540				3,14	4,13	0,971	1		0,03ns
		Gama				8,9888	0,2806					9,66	15,10	0,970	4		0,091ns
		SB jonhson				6,9569		-1,7921	1,3684	-3,2069		8,60	8,46	0,973	3		0,081ns
		Dagum			0,2202	8,8338	3,1149					5,85	6,64	0,987	2		0,055ns
8	12	Normal	2,0962	0,7969							10,36	10,75	0,882	2	0,1ns	0,1327	
		Weibull 3p				0,0000	2,4632	3,1278				6,79	9,13	0,903	1		0,065ns
		Gama				13,0992	0,1892					11,62	18,24	0,952	4		0,112ns
		SB jonhson				-		-	-	-		-	-	-	5		-
		Dagum			0,0868	21,0760	3,1097					10,87	11,46	0,951	3		0,105ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
12	1	Normal	3,0865	0,6880							8,20	9,40	0,947	4	0,079ns		
		Weibull 3p				0,4769	2,9040	4,5718				3,09	5,23	0,984	2	0,03ns	
		Gama				20,1291	0,1533					12,75	14,22	0,869	3	0,123ns	0,1334
		SB jonhson				17,2694		-5,3120	2,6495	-12,0024		0,91	1,37	0,999	1	0,009ns	
		Dagum			0,1351	33,4194	3,6874					25,28	32,52	0,994	5	0,243*	
12	2	Normal	2,8357	0,4998							62,24	60,96	0,127	3	0,5930*		
		Weibull 3p				1,2487	2,6049	4,9578				9,23	9,74	0,984	1	0,088ns	
		Gama				32,1914	0,0881					51,30	66,28	0,038	2	0,489*	0,1327
		SB jonhson				-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	
		Dagum			0,1139	45,1717	3,3648					67,81	83,31	0,038	4	0,646*	
12	3	Normal	3,8925	0,8401							10,32	12,86	0,915	3	0,096ns		
		Weibull 3p				0,5000	3,7246	4,4600				7,76	11,59	0,941	1	0,073ns	
		Gama				21,4693	0,1813					13,86	16,07	0,854	5	0,13ns	0,1315
		SB jonhson				26,6691		-7,4034	3,2327	-20,1487		3,98	4,55	0,998	4	0,037ns	
		Dagum			0,3139	19,7538	4,4935					4,51	5,75	0,998	2	0,042ns	
12	4	Normal	4,2103	0,6116							7,96	9,00	0,969	3	0,074ns		
		Weibull 3p				1,0066	3,4872	6,3380				1,90	3,14	0,997	1	0,018ns	
		Gama				47,3961	0,0888					10,65	11,83	0,940	5	0,099ns	0,1315
		SB jonhson				18,6206		-6,2752	2,8906	-12,3614		1,11	1,97	0,999	4	0,01ns	
		Dagum			0,1657	50,5498	4,6482					45,23	57,97	0,992	2	0,423*	
12	5	Normal	2,9369	0,6854							5,78	6,57	0,994	3	0,054ns		
		Weibull 3p				2,4149	2,0957	3,5315				5,95	7,97	0,962	1	0,056ns	
		Gama				67,1644	0,0652					5,98	7,20	0,995	5	0,056ns	0,1315
		SB jonhson				-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
		Dagum			0,2330	27,8184	4,9909					2,86	4,60	0,999	2	0,027ns	
12	6	Normal	4,1226	0,9468							10,26	11,00	0,931	3	0,097ns		
		Weibull 3p				0,4942	4,0600	5,0985				3,56	5,88	0,985	1	0,034ns	
		Gama				18,9580	0,2175					13,99	14,48	0,870	5	0,132*	0,1315
		SB jonhson				18,1458		-3,8694	1,4936	-12,5274		11,69	11,47	0,966	4	0,11ns	
		Dagum			0,1552	23,2456	5,0865					6,43	8,51	0,984	2	0,061ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
12	7	Normal	4,1762	0,9206							11,08	11,96	0,889	4	0,106ns		
		Weibull 3p				1,2702	3,4040	4,0619				9,28	11,10	0,940	1	0,088ns	
		Gama				20,5782	0,2029					14,58	15,46	0,805	5	0,139*	0,1327
		SB jonhson				8,7226		-2,2046	1,4676	-2,7831		4,80	6,15	0,988	2	0,046ns	
		Dagum			0,2488	18,0218	4,9538					5,52	6,49	0,983	3	0,053ns	
12	8	Normal	3,9954	0,9586							10,22	11,33	0,943	4	0,095ns		
		Weibull 3p				0,4910	3,9183	4,1159				6,48	9,65	0,960	1	0,06ns	
		Gama				17,3707	0,2300					14,22	14,72	0,884	5	0,132*	0,1309
		SB jonhson				19,5006		-4,2253	1,7706	-13,6634		5,26	6,66	0,978	2	0,049ns	
		Dagum			0,0876	36,2108	5,1495					8,82	10,66	0,973	3	0,082ns	
12	9	Normal	4,0701	0,8440							4,71	5,03	0,978	3	0,044ns		
		Weibull 3p				1,3925	3,0015	3,7856				1,99	3,42	0,991	2	0,019ns	
		Gama				23,2541	0,1750					54,36	70,87	0,933	5	0,508*	0,1315
		SB jonhson				24,3852		-6,4921	3,7387	-16,5860		0,67	0,83	0,999	1	0,006ns	
		Dagum			0,2721	17,2873	4,7971					4,81	5,06	0,990	4	0,045ns	
12	10	Normal	4,1191	0,8985							8,63	9,32	0,912	4	0,082ns		
		Weibull 3p				1,1681	3,2370	3,8902				8,55	8,98	0,926	3	0,081ns	
		Gama				21,0176	0,1960					12,21	13,11	0,831	5	0,116ns	0,1327
		SB jonhson				7,5459		-1,6579	1,5850	-1,3420		2,97	4,14	0,985	1	0,028ns	
		Dagum			0,2538	17,5237	4,9062					3,59	4,66	0,992	2	0,034ns	
12	11	Normal	4,2852	0,7505							12,61	16,24	0,979	4	0,119ns		
		Weibull 3p				0,5000	3,8893	4,4473				5,88	9,48	0,939	3	0,055ns	
		Gama				36,7956	0,1184					15,12	19,70	0,975	5	0,143*	0,1321
		SB jonhson				148,0299		-9,0839	2,0792	-141,9105		4,02	7,50	0,999	1	0,038ns	
		Dagum			0,1467	26,2321	5,1274					4,49	7,94	0,998	2	0,042ns	
12	12	Normal	3,8077	1,0477							7,87	10,55	0,921	2	0,076ns		
		Weibull 3p				0,5000	3,7258	3,6907				5,88	8,92	0,942	1	0,057ns	
		Gama				13,2089	0,2883					11,85	14,79	0,842	3	0,114ns	0,1334
		SB jonhson				161,4698		-12,3434	3,0886	-154,5558		2,10	3,00	0,999	5	0,02ns	
		Dagum			0,2702	14,3814	4,7623					2,87	4,48	0,997	4	0,028ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ε	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
16	1	Normal	3,9466	1,0587							2,31	3,18	0,990	2	0,022ns	0,134	
		Weibull 3p				1,0000	3,3552	2,9193				2,69	5,28	0,975	4		0,026ns
		Gama				13,8952	0,2840					5,75	7,52	0,952	5		0,056ns
		SB jonhson				10,5850		-1,1719	2,2583	-2,6324		1,56	2,34	0,992	1		0,015ns
		Dagum			0,2750	12,4083	4,9179					3,07	3,94	0,976	3		0,03ns
16	2	Normal	4,7762	0,8890							5,34	3,63	0,953	3	0,025ns	0,1327	
		Weibull 3p				1,2295	3,8884	4,8317				1,21	2,27	0,996	1		0,012ns
		Gama				28,8619	0,1655					4,25	6,04	0,978	4		0,04ns
		SB jonhson				67,3167		-16,2742	15,8841	-44,6958		1,84	2,44	0,999	2		0,018ns
		Dagum			0,2796	18,3366	5,5697					4,75	5,34	0,974	5		0,045ns
16	3	Normal	5,2944	1,1169							11,98	13,48	0,910	5	0,112ns	0,1315	
		Weibull 3p				1,4585	4,2926	4,4687				6,18	9,17	0,956	2		0,058ns
		Gama				47,3477	0,1186					9,11	13,97	0,991	3		0,085ns
		SB jonhson				59,6966		-7,9734	2,3655	-52,1962		5,10	5,59	0,995	1		0,048ns
		Dagum			0,0607	63,4442	6,6405					11,22	18,16	0,829	4		0,105ns
16	4	Normal	6,3566	0,6018							7,39	8,83	0,995	4	0,069ns	0,1315	
		Weibull 3p				1,2677	5,2492	8,0148				4,94	5,71	0,987	2		0,046ns
		Gama				51,6382	0,1197					15,22	16,26	0,877	5		0,142*
		SB jonhson				191,3331		-13,1152	2,8572	-182,9928		3,83	6,26	0,999	3		0,036ns
		Dagum			0,0233	34,1772	6,9831					1,24	2,70	0,999	1		0,012ns
16	5	Normal	6,6776	0,8067							8,64	9,85	0,960	3	0,081ns	0,1315	
		Weibull 3p				3,3489	3,6531	5,4772				4,09	6,04	0,980	1		0,038ns
		Gama				68,5249	0,0974					8,85	10,84	0,950	4		0,083ns
		SB jonhson				16,5342		-4,1364	1,6409	-8,4449		9,69	12,87	0,887	5		0,091ns
		Dagum			0,8112	20,8856	6,9684					5,64	9,76	0,999	2		0,053ns
16	6	Normal	7,1595	0,7068							5,95	9,22	0,997	2	0,056ns	0,1321	
		Weibull 3p				1,3500	5,9268	8,4826				4,59	8,28	0,987	4		0,043ns
		Gama				36,9208	0,1878					12,70	19,62	0,865	5		0,12ns
		SB jonhson				39,8459		-10,3254	11,4211	-21,2102		5,88	8,44	0,997	1		0,055ns
		Dagum			0,1943	33,1950	7,8406					9,11	10,91	0,974	3		0,086ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
16	7	Normal	7,4862	0,6230							11,58	14,18	0,985	3	0,11ns	0,1327	
		Weibull 3p				4,3728	3,1240	4,7600				8,56	12,56	0,923	2		0,082ns
		Gama				145,2175	0,0516					11,83	14,74	0,985	4		0,113ns
		SB jonhson				7,0567		-1,8335	1,1356	1,5595		14,11	16,46	0,966	5		0,134*
		Dagum			0,2974	29,9563	7,8929					6,62	8,58	0,971	1		0,063ns
16	8	Normal	7,2222	1,0526							6,15	9,34	0,972	4	0,057ns	0,1309	
		Weibull 3p				3,4892	4,1754	4,2695				2,93	5,27	0,988	1		0,027ns
		Gama				47,0752	0,1534					7,54	11,06	0,948	5		0,07ns
		SB jonhson				2061,4900		-20,5954	3,1698	-2051,0100		4,42	5,95	0,992	3		0,041ns
		Dagum			0,3106	22,8650	8,0650					4,35	5,97	0,992	2		0,04ns
16	9	Normal	7,4065	0,8264							4,42	6,21	0,978	4	0,041ns	0,1315	
		Weibull 3p				4,3558	3,4001	4,3123				2,35	4,12	0,988	2		0,022ns
		Gama				80,3346	0,0922					6,29	7,23	0,963	5		0,059ns
		SB jonhson				15,4846		-4,2905	2,6256	-5,4490		1,87	2,18	0,996	1		0,018ns
		Dagum			0,4321	23,8932	7,9235					3,45	3,60	0,993	3		0,032ns
16	10	Normal	7,4905	0,9807							6,51	7,50	0,971	4	0,062ns	0,1327	
		Weibull 3p				3,3082	4,6673	5,4597				3,76	5,06	0,991	1		0,036ns
		Gama				58,3348	0,1284					8,50	9,74	0,951	5		0,081ns
		SB jonhson				15,2297		-3,9492	2,0417	-5,7293		5,52	7,58	0,999	3		0,053ns
		Dagum			0,2602	28,4477	8,3875					3,59	4,15	0,993	2		0,034ns
16	11	Normal	7,3113	1,2295							7,29	11,10	0,927	3	0,069ns	0,1321	
		Weibull 3p				3,3786	4,4033	4,4502				4,06	7,49	0,969	2		0,038ns
		Gama				35,3642	0,2067					9,47	13,55	0,885	5		0,089ns
		SB jonhson				12,5983		-2,4367	1,4460	-3,0629		2,67	4,77	0,980	1		0,025ns
		Dagum			0,0873	59,0881	8,6986					8,05	11,27	0,943	4		0,076ns
16	12	Normal	7,1990	1,1477							9,16	9,98	0,917	3	0,089ns	0,134	
		Weibull 3p				3,4510	4,2725	3,9241				4,02	8,35	0,947	2		0,039ns
		Gama				39,3461	0,1830					11,50	12,67	0,870	5		0,112ns
		SB jonhson				12,5983		-2,4367	1,4460	-3,0629		9,63	11,44	0,898	4		0,093ns
		Dagum			0,2547	23,7678	8,2490					1,84	2,97	0,993	1		0,018ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
20	1	Normal	4,1019	1,2015							3,12	3,42	0,986	3	0,03ns		
		Weibull 3p				1,0008	3,4732	2,9429				1,99	3,61	0,981	2	0,019ns	
		Gama				11,6564	0,3519					4,30	5,23	0,968	4	0,042ns	0,134
		SB jonhson				123,7780		-10,7366	26,3783	-70,2540		5,88	7,86	0,991	5	0,057ns	
		Dagum			0,4287	8,6003	4,8139					1,24	1,80	0,996	1	0,012ns	
20	2	Normal	5,2524	1,1693							5,34	6,94	0,953	3	0,051ns		
		Weibull 3p				1,3558	4,3724	3,9335				4,95	6,59	0,969	2	0,047ns	
		Gama				20,1773	0,2603					6,42	9,74	0,921	4	0,061ns	0,1327
		SB jonhson				10,3050		-1,4442	1,8285	-1,7238		2,86	4,41	0,985	1	0,027ns	
		Dagum			0,1126	31,6004	6,7143					6,54	8,36	0,955	5	0,062ns	
20	3	Normal	5,8832	1,3301							10,33	13,67	0,893	4	0,097ns		
		Weibull 3p				1,4613	4,9573	4,4042				5,54	9,16	0,953	2	0,052ns	
		Gama				35,7185	0,1794					11,94	20,72	0,981	5	0,112ns	0,1315
		SB jonhson				10,4367		-1,8920	1,1351	-2,5699		4,05	5,36	0,975	1	0,038ns	
		Dagum			0,3115	16,9607	7,0661					4,96	8,97	0,996	3	0,046ns	
20	4	Normal	7,2405	0,6375							13,38	16,75	0,984	3	0,125ns		
		Weibull 3p				1,3443	6,0052	8,0338				4,35	7,95	0,974	2	0,041ns	
		Gama				141,5339	0,0513					14,37	18,00	0,983	5	0,134*	0,1315
		SB jonhson				78,9347		-8,1414	2,1577	-69,9460		3,72	6,55	0,999	1	0,035ns	
		Dagum			0,1379	51,9029	7,7520					13,41	16,78	0,998	4	0,125ns	
20	5	Normal	7,8904	0,6753							6,88	8,32	0,995	1	0,064ns		
		Weibull 3p				3,2797	4,9464	5,5777				10,33	14,99	0,946	2	0,097ns	
		Gama				132,7419	0,0597					57,77	68,73	0,995	5	0,54*	0,1315
		SB jonhson				44,4834		12,9263	12,7026	-3,9096		58,33	69,34	0,995	4	0,545*	
		Dagum			0,5944	28,4970	8,1337					56,04	66,80	0,997	3	0,524*	
20	6	Normal	8,5094	0,7376							7,58	11,93	0,997	3	0,072ns		
		Weibull 3p				2,4942	6,2326	7,4197				4,75	9,05	0,972	2	0,045ns	
		Gama				133,2318	0,0641					8,19	12,93	0,997	4	0,077ns	0,1321
		SB jonhson				86,9872		-9,0616	2,3304	-76,7038		4,52	7,99	0,998	1	0,043ns	
		Dagum			0,1958	34,7924	9,2696					8,84	11,28	0,975	5	0,083ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
20	7	Normal	9,6905	1,1305							11,11	17,85	0,864	1	0,106ns		
		Weibull 3p				5,4510	4,5371	6,0925				13,47	14,38	0,917	4	0,128ns	
		Gama				73,4781	0,1319					11,79	19,45	0,830	5	0,112ns	0,1327
		SB jonhson				83,1256		-9,2478	2,5704	-70,9571		3,79	4,97	0,996	2	0,036ns	
		Dagum			0,2499	43,7484	10,5713					3,83	5,42	0,996	3	0,037ns	
20	8	Normal	8,9537	1,1253							13,83	17,19	0,848	5	0,128ns		
		Weibull 3p				4,4965	4,9236	5,5209				6,84	10,71	0,941	3	0,063ns	
		Gama				178,3742	0,0523					12,48	17,12	0,988	4	0,116ns	0,1309
		SB jonhson				158,4080		-10,2224	2,3324	-147,1687		5,77	7,87	0,995	2	0,053ns	
		Dagum			0,2206	39,3038	9,8687					4,80	7,61	0,987	1	0,044ns	
20	9	Normal	9,1729	0,8730							10,99	11,29	0,892	4	0,103ns		
		Weibull 3p				6,4970	3,0577	3,7974				6,21	9,18	0,931	2	0,058ns	
		Gama				110,3990	0,0831					12,56	12,88	0,859	5	0,117ns	0,1315
		SB jonhson				7,9957		-2,0173	1,5671	3,0482		3,89	5,59	0,983	1	0,036ns	
		Dagum			0,3243	36,2421	9,8141					5,07	6,06	0,992	3	0,047ns	
20	10	Normal	9,3857	1,0357							8,64	9,61	0,961	4	0,082ns		
		Weibull 3p				4,0990	5,8620	5,4802				8,92	11,84	0,959	1	0,085ns	
		Gama				82,1250	0,1143					10,04	11,16	0,943	5	0,096ns	0,1327
		SB jonhson				93,4651		-8,8926	2,3174	-81,9648		3,63	5,26	0,999	3	0,035ns	
		Dagum			0,2898	32,5183	10,2428					2,28	3,08	0,998	2	0,022ns	
20	11	Normal	9,1887	1,2314							13,33	14,50	0,857	4	0,126ns		
		Weibull 3p				5,1569	4,5423	4,4621				6,46	10,48	0,923	2	0,061ns	
		Gama				55,6833	0,1650					15,36	16,54	0,813	4	0,145*	0,1321
		SB jonhson				11,9937		-2,2827	1,4741	-0,4649		8,31	10,12	0,891	3	0,078ns	
		Dagum			0,2812	27,9707	10,1855					5,76	6,47	0,974	1	0,054ns	
20	12	Normal	8,9039	1,2521							9,27	13,18	0,912	3	0,089ns		
		Weibull 3p				4,4910	4,9095	4,3131				5,87	10,00	0,945	2	0,056ns	
		Gama				50,5707	0,1761					11,36	15,32	0,875	4	0,109ns	0,1334
		SB jonhson				11,9937		-2,2827	1,4741	-0,4649		16,29	18,13	0,857	5	0,157*	
		Dagum			0,2506	29,3990	9,9572					3,58	7,26	0,994	1	0,034ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
24	1	Normal	4,3878	1,3316							4,69	4,98	0,970	4	0,048ns	0,1374	
		Weibull 3p				1,2202	3,5440	2,8894				2,34	5,30	0,971	3		0,024ns
		Gama				10,8579	0,4041					5,33	6,10	0,952	5		0,054ns
		SB jonhson				334,7325		-61,6767	38,6329	-274,0196		3,43	4,87	0,978	2		0,035ns
		Dagum			0,4533	8,1008	5,1036					1,63	2,73	0,988	1		0,017ns
24	2	Normal	4,3878	1,3316							37,69	58,48	0,434	5	0,366*	0,134	
		Weibull 3p				1,0000	5,1927	3,9560				1,57	3,08	0,989	1		0,015ns
		Gama				17,5679	0,3219					7,22	8,57	0,945	4		0,07ns
		SB jonhson				14,8797		-1,7371	2,3599	-4,3093		1,65	2,01	0,992	2		0,016ns
		Dagum			0,2382	15,6040	7,0046					3,14	4,12	0,981	3		0,03ns
24	3	Normal	6,4533	1,5491							12,95	17,09	0,837	4	0,121ns	0,1315	
		Weibull 3p				1,4931	5,6308	4,2912				6,02	12,24	0,917	2		0,056ns
		Gama				17,3542	0,3719					16,18	21,33	0,741	5		0,151*
		SB jonhson				477,3249		-12,6812	2,5077	-467,4754		4,46	7,52	0,988	1		0,042ns
		Dagum			0,1350	27,2335	8,0548					7,79	8,66	0,967	3		0,073ns
24	4	Normal	7,9476	0,8469							9,64	15,10	0,978	4	0,09ns	0,1315	
		Weibull 3p				8,2935	6,6160	1,4521				3,50	5,93	0,990	3		0,033ns
		Gama				86,3116	0,0926					10,83	16,49	0,969	5		0,101ns
		SB jonhson				103,3594		-10,4871	2,8906	-92,8331		2,56	3,61	0,999	2		0,024ns
		Dagum			0,2442	31,4257	8,5400					2,41	3,53	0,998	1		0,023ns
24	5	Normal	8,4623	0,9993							12,31	12,96	0,921	4	0,116ns	0,1321	
		Weibull 3p				4,1573	4,7520	5,6352				8,19	9,98	0,943	1		0,077ns
		Gama				71,7120	0,1180					13,97	14,03	0,904	5		0,132ns
		SB jonhson				46,3681		12,3762	5,3064	4,4962		6,97	8,97	0,996	3		0,066ns
		Dagum			0,4065	25,4090	9,0556					6,67	6,77	0,984	2		0,063ns
24	6	Normal	9,0094	1,3193							13,69	18,88	0,879	4	0,129ns	0,1321	
		Weibull 3p				2,4400	7,1183	7,8335				4,13	7,92	0,978	2		0,039ns
		Gama				46,6366	0,1932					16,43	21,77	0,843	5		0,155*
		SB jonhson				116,5339		-9,8166	2,4850	-105,0079		3,77	6,20	0,998	1		0,036ns
		Dagum			0,2080	34,8193	10,0973					6,35	8,95	0,988	3		0,06ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
24	7	Normal	9,6905	1,1389							6,08	10,00	0,920	4	0,058ns	0,1327	
		Weibull 3p				6,0432	4,2102	4,8093				6,88	9,95	0,993	2		0,066ns
		Gama				72,3990	0,1338					8,96	12,27	0,885	5		0,085ns
		SB jonhson				10,1429		-1,9890	1,4937	1,8630		2,54	3,62	0,985	1		0,024ns
		Dagum			0,2299	36,2797	10,7432					4,12	5,23	0,984	3		0,039ns
24	8	Normal	9,9259	1,1801							7,21	12,94	0,917	4	0,067ns	0,1309	
		Weibull 3p				5,0508	5,3575	5,5202				5,50	6,83	0,974	2		0,051ns
		Gama				70,7451	0,1403					10,65	14,02	0,886	5		0,099ns
		SB jonhson				12,7758		-2,5783	1,4937	-0,7322		4,77	4,72	0,985	3		0,044ns
		Dagum			0,2550	33,9212	10,9383					3,21	4,31	0,984	1		0,03ns
24	9	Normal	10,4905	0,9877							12,94	16,57	0,967	4	0,121ns	0,1315	
		Weibull 3p				7,4271	3,1498	3,3458				3,73	5,82	0,987	2		0,035ns
		Gama				119,1380	0,0881					9,31	12,92	0,974	3		0,087ns
		SB jonhson				307,5172		-19,6818	4,6476	-292,8602		1,28	2,03	0,999	1		0,012ns
		Dagum			0,4653	27,8778	11,0521					13,05	16,02	0,951	5		0,122ns
24	10	Normal	10,4905	0,9611							4,08	4,66	0,989	3	0,039ns	0,1327	
		Weibull 3p				6,0802	4,8737	5,5050				5,15	5,25	0,991	1		0,049ns
		Gama				108,1660	0,0950					15,73	18,02	0,919	5		0,15*
		SB jonhson				197,4638		-26,6978	8,3020	-179,2787		2,26	3,40	0,999	2		0,021ns
		Dagum			0,6074	22,5526	10,6605					11,73	15,75	0,954	4		0,112ns
24	11	Normal	10,2075	1,3173							9,20	10,21	0,936	3	0,087ns	0,1321	
		Weibull 3p				5,4347	5,3394	4,6827				2,97	6,75	0,973	2		0,028ns
		Gama				60,0464	0,1700					11,10	11,01	0,908	4		0,105ns
		SB jonhson				42,5128		-6,7136	2,6560	-29,0111		3,22	4,31	0,991	5		0,03ns
		Dagum			0,2974	27,1351	11,2767					1,83	2,32	0,995	1		0,017ns
24	12	Normal	9,9423	1,3143							8,03	10,28	0,943	4	0,077ns	0,1334	
		Weibull 3p				5,4649	4,9782	4,3241				4,51	7,24	0,961	1		0,043ns
		Gama				57,2231	0,1737					9,19	12,33	0,924	5		0,088ns
		SB jonhson				24,4432		-4,1370	2,0109	-11,4999		5,67	7,47	0,941	3		0,054ns
		Dagum			0,2644	28,2280	11,1152					5,33	7,85	0,926	2		0,051ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
28	1	Normal	4,6979	1,5852							9,47	10,09	0,877	5	0,099ns		
		Weibull 3p				1,2338	3,8604	2,8780				12,91	24,97	0,895	4	0,134ns	
		Gama				8,7828	0,5349					4,43	6,42	0,907	2	0,046ns	0,1388
		SB jonhson				18,8133		2,1350	2,4214	-0,9406		5,86	6,72	0,887	3	0,061ns	
		Dagum			0,5940	6,2280	5,1806					4,41	6,90	0,922	1	0,046ns	
28	2	Normal	6,3039	1,7492							7,71	9,37	0,851	3	0,076ns		
		Weibull 3p				2,2066	4,6849	2,4053				4,69	8,93	0,862	2	0,046ns	
		Gama				12,9885	0,4853					7,93	10,66	0,818	4	0,078ns	0,1347
		SB jonhson				8,7964		-0,0759	1,0645	1,7737		4,03	5,03	0,889	1	0,039ns	
		Dagum			0,1977	15,1013	8,2892					9,04	11,40	0,878	5	0,089ns	
28	3	Normal	7,1793	1,8660							7,64	13,36	0,893	4	0,072ns		
		Weibull 3p				1,4619	6,3876	3,7689				5,25	11,16	0,917	2	0,05ns	
		Gama				14,8022	0,4850					10,67	18,48	0,799	5	0,101ns	0,1321
		SB jonhson				196,9548		-10,5780	2,8875	-184,5330		3,05	5,80	0,970	1	0,029ns	
		Dagum			0,1464	22,0409	9,2453					5,99	6,47	0,947	3	0,056ns	
28	4	Normal	8,6869	1,3817							10,69	17,04	0,886	3	0,1ns		
		Weibull 3p				1,4504	7,6185	8,3367				7,97	14,20	0,951	2	0,074ns	
		Gama				39,5301	0,2198					12,29	27,84	0,850	4	0,115ns	0,1315
		SB jonhson				161,6104		-10,2792	2,4774	-150,1103		3,64	6,63	0,994	5	0,034ns	
		Dagum			0,1855	34,4659	9,8771					5,18	7,10	0,993	1	0,048ns	
28	5	Normal	10,0000	1,4137							13,14	16,97	0,931	5	0,124ns		
		Weibull 3p				4,1836	5,9997	5,7333				3,92	7,21	0,978	1	0,037ns	
		Gama				46,1470	0,2081					13,77	14,51	0,886	4	0,13ns	0,1321
		SB jonhson				167,8204		-29,9228	12,2473	-144,5462		7,33	11,21	0,987	3	0,069ns	
		Dagum			0,2523	27,9002	10,7817					5,96	7,11	0,966	2	0,056ns	
28	6	Normal	10,0000	1,6084							26,50	31,04	0,782	5	0,25*		
		Weibull 3p				2,4851	8,5330	7,8912				4,90	10,37	0,964	1	0,046ns	
		Gama				41,0984	0,2509					19,93	69,82	0,812	4	0,188*	0,1321
		SB jonhson				167,5874		-32,6980	13,2350	-143,8169		8,72	45,83	0,985	2	0,082ns	
		Dagum			0,1523	42,8742	11,7321					9,80	12,08	0,944	3	0,092ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
28	7	Normal	11,0905	1,2087							7,18	8,20	0,957	4	0,068ns	0,1327	
		Weibull 3p				7,0007	4,5049	4,9378				4,76	7,84	0,981	3		0,045ns
		Gama				84,1960	0,1317					7,93	9,48	0,937	5		0,076ns
		SB jonhson				25,5047		-4,7466	2,5304	-10,8597		2,72	3,52	0,986	2		0,026ns
		Dagum			0,3140	30,2475	12,0759					2,56	3,91	0,984	1		0,024ns
28	8	Normal	11,4722	1,2432							7,59	9,91	0,957	5	0,07ns	0,1309	
		Weibull 3p				6,1326	5,8221	5,6241				2,87	4,52	0,992	1		0,027ns
		Gama				85,1568	0,1347					8,93	11,53	0,937	4		0,083ns
		SB jonhson				51,8326		-6,5935	2,2685	-37,4482		3,41	4,24	0,984	3		0,032ns
		Dagum			0,2316	39,4384	12,6103					3,10	4,29	0,985	2		0,029ns
28	9	Normal	12,0327	1,0351							5,58	6,39	0,974	4	0,052ns	0,1315	
		Weibull 3p				8,4526	3,9992	3,8607				3,24	5,22	0,980	3		0,03ns
		Gama				135,1420	0,0890					6,99	7,80	0,960	5		0,065ns
		SB jonhson				14,7351		-3,2440	2,2290	0,2207		1,82	2,32	0,993	1		0,017ns
		Dagum			0,3575	35,0401	12,8111					2,96	4,14	0,981	2		0,028ns
28	10	Normal	12,4905	1,1339							4,36	5,00	0,990	4	0,041ns	0,1327	
		Weibull 3p				7,3998	5,5206	5,5735				1,12	2,41	0,995	1		0,011ns
		Gama				121,3510	0,1029					5,39	6,19	0,983	5		0,051ns
		SB jonhson				86,1047		-18,3099	14,2451	-54,8708		1,74	3,22	0,999	3		0,017ns
		Dagum			0,4603	28,5552	13,1543					1,43	2,20	0,997	2		0,014ns
28	11	Normal	12,5094	1,3632							6,21	7,31	0,972	4	0,059ns	0,1321	
		Weibull 3p				7,4471	5,5759	4,6734				2,56	4,11	0,990	2		0,024ns
		Gama				84,2046	0,1486					7,53	8,11	0,957	5		0,071ns
		SB jonhson				132,4730		-19,4102	7,6298	-110,1792		2,90	3,86	0,997	3		0,027ns
		Dagum			0,3929	26,3156	13,4305					1,10	1,78	0,997	1		0,01ns
28	12	Normal	12,3558	1,5897							5,03	9,02	0,933	3	0,048ns	0,1334	
		Weibull 3p				7,0212	5,9401	3,8458				4,67	8,00	0,940	2		0,045ns
		Gama				60,4070	0,2045					6,04	10,09	0,911	5		0,058ns
		SB jonhson				19,8788		-2,7776	2,1062	-3,1242		3,84	5,03	0,950	1		0,037ns
		Dagum			0,2856	27,0307	13,7411					4,74	6,04	0,947	4		0,046ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
32	1	Normal	5,1533	1,5897							11,73	18,30	0,760	5	0,156ns		
		Weibull 3p				1,4984	3,8630	2,8061				6,84	15,94	0,815	4	0,091ns	
		Gama				10,7671	0,4786					8,28	11,43	0,827	1	0,11ns	0,157
		SB jonhson				24,9216		3,6664	2,1584	1,0654		6,71	10,22	0,819	3	0,089ns	
		Dagum			1,0387	6,0045	4,8611					5,99	11,04	0,884	2	0,08ns	
32	2	Normal	6,7528	1,6481							7,20	9,74	0,823	3	0,079ns		
		Weibull 3p				3,0021	4,7103	2,3016				7,55	16,19	0,848	1	0,083ns	
		Gama				16,7872	0,4023					7,00	10,70	0,800	2	0,077ns	0,1426
		SB jonhson				7,1570		0,3385	0,8204	3,3430		10,09	16,00	0,877	5	0,111ns	
		Dagum			0,3129	12,1632	8,2333					7,47	13,17	0,809	4	0,082ns	
32	3	Normal	7,5198	1,8773							10,79	13,82	0,816	4	0,107ns		
		Weibull 3p				1,4825	6,9259	4,0284				4,85	11,87	0,860	3	0,048ns	
		Gama				16,0447	0,4687					13,90	18,33	0,747	5	0,138*	0,1353
		SB jonhson				14,8200		-1,7291	1,3515	-3,7336		4,11	7,30	0,901	1	0,041ns	
		Dagum			0,1419	23,6872	9,6122					4,50	7,06	0,901	2	0,045ns	
32	4	Normal	8,9393	1,5659							11,64	19,70	0,874	4	0,109ns		
		Weibull 3p				1,4843	7,6851	8,3654				18,18	21,61	0,910	2	0,094ns	
		Gama				32,5909	0,2743					14,18	43,68	0,976	5	0,133*	0,1315
		SB jonhson				133,2856		-9,3887	2,5353	-120,3696		3,80	14,00	0,989	1	0,045ns	
		Dagum			0,1609	32,2952	10,9543					6,10	8,76	0,987	3	0,051ns	
32	5	Normal	10,7771	0,8721							7,35	12,16	0,994	4	0,102ns		
		Weibull 3p				4,2700	6,7808	4,2700				16,67	23,75	0,856	1	0,048ns	
		Gama				152,0862	0,0711					7,95	11,16	0,991	5	0,114ns	0,1321
		SB jonhson				159,5009		-20,2083	6,0692	-143,2549		5,53	7,23	0,997	3	0,078ns	
		Dagum			0,2005	40,4896	11,6312					6,33	8,32	0,971	2	0,063ns	
32	6	Normal	10,8748	0,9921							11,30	20,44	0,998	5	0,107ns		
		Weibull 3p				2,4076	8,6646	8,9616				4,11	8,25	0,988	1	0,039ns	
		Gama				0,0913	0,0913					6,31	42,04	0,998	2	0,06ns	0,1321
		SB jonhson				155,8502		-20,1746	36,4147	-88,1030		5,85	36,12	0,992	3	0,055ns	
		Dagum			0,1868	36,8465	11,8920					10,21	0,00	0,960	4	0,096ns	

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
32	7	Normal	11,4524	1,3193							6,77	10,35	0,909	4	0,065ns	0,1327	
		Weibull 3p				7,0962	4,9617	4,9726				6,54	10,19	0,968	3		0,062ns
		Gama				75,3521	0,1520					8,08	12,22	0,880	5		0,077ns
		SB jonhson				13,7452		-2,4183	1,6055	0,4355		2,70	3,37	0,989	1		0,026ns
		Dagum			0,1887	43,1391	12,7714					3,23	4,73	0,982	2		0,031ns
32	8	Normal	12,0644	1,0613							6,66	9,75	0,992	4	0,062ns	0,1309	
		Weibull 3p				6,3095	5,9416	5,6724				4,54	7,21	0,985	1		0,042ns
		Gama				73,4199	0,1610					9,17	11,56	0,924	5		0,085ns
		SB jonhson				241,0184		-19,0822	5,1167	-223,3721		3,40	4,83	0,996	3		0,032ns
		Dagum			0,3224	29,1626	12,8543					3,16	3,63	0,992	2		0,029ns
32	9	Normal	12,4159	0,9870							3,33	4,96	0,979	3	0,031ns	0,1315	
		Weibull 3p				9,0000	3,7722	3,8096				2,84	4,52	0,985	2		0,027ns
		Gama				162,8046	0,0773					5,65	7,83	0,985	5		0,053ns
		SB jonhson				10,9132		-2,1290	2,1627	4,5694		0,68	1,11	0,998	1		0,006ns
		Dagum			0,3904	34,5909	13,1408					3,98	4,71	0,981	4		0,037ns
32	10	Normal	13,0333	1,1716							3,37	5,36	0,985	3	0,032ns	0,1327	
		Weibull 3p				8,0312	5,6784	4,7617				7,05	10,08	0,983	1		0,067ns
		Gama				123,7470	0,1053					4,65	6,72	0,976	5		0,044ns
		SB jonhson				8,0097		-0,5600	1,6935	8,4999		1,95	3,22	0,998	2		0,019ns
		Dagum			0,3683	32,4364	13,9085					3,96	5,35	0,968	4		0,038ns
32	11	Normal	13,2547	1,4328							6,36	7,75	0,957	4	0,06ns	0,1321	
		Weibull 3p				8,0312	5,6784	4,7617				4,23	5,98	0,981	2		0,04ns
		Gama				85,5742	0,1549					7,92	8,46	0,941	5		0,075ns
		SB jonhson				343,5143		-19,0209	4,6600	-324,4745		3,40	4,90	0,993	3		0,032ns
		Dagum			0,4422	24,7580	14,1083					1,16	2,08	0,996	1		0,011ns
32	12	Normal	13,2885	1,4720							5,75	7,53	0,969	4	0,055ns	0,1334	
		Weibull 3p				8,0147	5,8800	4,1378				3,00	5,75	0,982	2		0,029ns
		Gama				81,4953	0,1631					7,30	8,53	0,949	5		0,07ns
		SB jonhson				30,2983		-4,6939	2,7871	-12,0931		2,21	2,68	0,991	3		0,021ns
		Dagum			0,3395	28,0663	14,4312					1,31	2,43	0,995	1		0,013ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ϑ	DF	RQEQM (%)	$r_{\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
36	1	Normal	5,3493	1,6525							12,15	19,48	0,734	5	0,166*	0,1592	
		Weibull 3p				2,1033	3,5881	2,2335				7,05	13,69	0,818	2		0,097ns
		Gama				10,4790	0,5105					7,91	12,05	0,827	4		0,108ns
		SB jonhson				13,8875		2,5830	1,6713	2,5000		6,48	13,61	0,909	3		0,089ns
		Dagum			1,8207	5,1548	4,3148					4,42	8,94	0,908	1		0,061ns
36	2	Normal	7,0275	1,8418							6,16	11,06	0,717	3	0,068ns	0,1426	
		Weibull 3p				3,1291	4,8647	2,2038				6,71	15,03	0,776	2		0,074ns
		Gama				14,5589	0,4827					6,85	10,85	0,733	4		0,075ns
		SB jonhson				7,3602		0,1201	0,7402	3,4477		2,87	5,57	0,886	1		0,032ns
		Dagum			0,3714	10,0077	8,4726					7,43	14,07	0,674	5		0,082ns
36	3	Normal	8,1122	1,8106							5,62	10,37	0,908	4	0,057ns	0,1374	
		Weibull 3p				2,1774	6,5794	3,6885				5,12	9,72	0,919	3		0,052ns
		Gama				20,0745	0,4041					8,57	13,63	0,849	5		0,087ns
		SB jonhson				12,7959		-1,3539	1,3306	-1,0071		1,97	2,91	0,974	1		0,02ns
		Dagum			0,1370	26,9806	10,2351					2,25	4,28	0,971	2		0,023ns
36	4	Normal	9,8336	1,1511							14,45	26,43	0,982	5	0,135*	0,1315	
		Weibull 3p				1,4234	8,6158	6,6745				4,55	9,11	0,970	2		0,043ns
		Gama				73,1265	0,1355					11,16	43,68	0,976	4		0,104ns
		SB jonhson				133,2856		-9,3887	2,5353	-120,3696		3,80	14,00	0,989	1		0,035ns
		Dagum			0,1609	32,2952	10,9543					6,10	8,76	0,987	3		0,057ns
36	5	Normal	10,7771	0,8721							7,35	12,16	0,994	4	0,069ns	0,1321	
		Weibull 3p				4,2700	6,7808	4,2700				16,67	23,75	0,856	1		0,043ns
		Gama				152,0862	0,0711					7,95	11,16	0,991	5		0,075ns
		SB jonhson				159,5009		-20,2083	6,0692	-143,2549		5,53	7,23	0,997	2		0,052ns
		Dagum			0,2005	40,4896	11,6312					6,33	8,32	0,971	3		0,06ns
36	6	Normal	11,7286	0,9097							36,12	57,56	0,981	5	0,341*	0,1321	
		Weibull 3p				2,4689	9,4467	8,9423				30,11	60,87	0,510	1		0,042ns
		Gama				168,5506	0,0698					14,41	95,39	0,978	4		0,136*
		SB jonhson				102,4952		-8,0003	2,0327	-88,9946		4,45	43,28	0,950	2		0,042ns
		Dagum			0,0803	83,2676	12,7197					9,59	14,08	0,938	3		0,09ns

Continua...

Cont., ANEXO I

IDADE	ESPAÇAMENTO	fdp	μ	σ	K	α	β	γ	δ	ε	DF	RQEQM (%)	$r_{y\hat{y}_i}$	RANKING	Dcal	dtab	
36	7	Normal	12,0048	1,1557							12,30	13,29	0,848	4	0,065ns		
		Weibull 3p				8,0000	4,5305	5,1240				7,99	9,87	0,943	2	0,062ns	
		Gama				107,8950	0,1113					13,81	14,79	0,815	5	0,077ns	0,1327
		SB jonhson				9,6597		-1,9727	1,2670	4,2779		4,81	5,76	0,966	3	0,026ns	
		Dagum			0,2552	42,1362	12,9979					2,71	4,64	0,979	1	0,031ns	
36	8	Normal	12,5370	1,3189							7,52	9,89	0,959	4	0,062ns		
		Weibull 3p				7,0001	5,9692	5,7685				3,75	6,17	0,991	2	0,042ns	
		Gama				90,3646	0,1387					8,77	10,27	0,941	5	0,085ns	0,1309
		SB jonhson				83,1821		-13,2442	5,1600	-64,5237		3,42	4,60	0,999	3	0,032ns	
		Dagum			0,3022	33,4141	13,5894					2,25	3,10	0,993	1	0,029ns	
36	9	Normal	13,2320	0,9217							3,41	4,54	0,998	4	0,031ns		
		Weibull 3p				9,3263	4,2344	4,4313				2,63	3,77	0,991	2	0,027ns	
		Gama				160,8390	0,0817					4,95	6,16	0,979	5	0,053ns	0,1315
		SB jonhson				149,7449		-36,2190	22,4788	-111,6007		3,19	3,82	0,998	3	0,006ns	
		Dagum			0,4801	32,1542	13,7139					2,05	3,03	0,990	1	0,037ns	
36	10	Normal	13,1778	1,1267							27,37	38,05	0,767	5	0,032*		
		Weibull 3p				9,3871	5,0076	4,3793				1,43	3,02	0,995	3	0,067ns	
		Gama				135,9720	0,1022					3,42	4,52	0,989	4	0,044ns	0,1327
		SB jonhson				12,8153		-24,1523	18,1774	-87,3525		1,38	2,52	0,996	1	0,019ns	
		Dagum			0,5066	27,9012	14,5418					2,46	4,13	0,982	2	0,038ns	
36	11	Normal	14,1226	1,2772							7,84	8,55	0,935	3	0,06ns		
		Weibull 3p				9,0000	5,7000	5,6190				5,18	8,32	0,966	4	0,04ns	
		Gama				122,2720	0,1155					9,21	9,80	0,920	5	0,075ns	0,1321
		SB jonhson				98,1871		-7,9183	2,1278	-81,6671		5,93	7,20	0,986	2	0,032ns	
		Dagum			0,4199	30,6768	14,9319					1,84	2,97	0,988	1	0,011ns	
36	12	Normal	14,2308	1,5142							11,58	15,15	0,900	4	0,055ns		
		Weibull 3p				8,2126	6,7153	8,2126				8,63	16,15	0,987	2	0,029ns	
		Gama				88,3226	0,1611					13,09	16,03	0,873	5	0,07ns	0,1334
		SB jonhson				17,9117		-2,7990	1,4080	-1,1755		7,70	9,06	0,914	3	0,021ns	
		Dagum			0,2589	38,2067	15,4980					3,74	6,06	0,974	1	0,013ns	

Em que: K, α , β , γ , δ e ε = parâmetros das funções de densidade de probabilidade; RQEM (%)=raiz quadrada do erro médio; $r_{y\hat{y}_i}$ = correlação.

ANEXO II

- Espaçamento 1

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	-	1
Estaca Tipo II	peça	-	10
Estaca Tipo III	peça	884	1193
Estaca Tipo IV	peça	14336	16082
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	47,41	47,91
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	68	64,72

- Espaçamento 2

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	-	14
Estaca Tipo II	peça	-	391
Estaca Tipo III	peça	5661	7034
Estaca Tipo IV	peça	22632	24064
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	41,22	39,5
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	45,09	41,76

- Espaçamento 3

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	-	29
Estaca Tipo II	peça	394	784
Estaca Tipo III	peça	8306	9267
Estaca Tipo IV	peça	19560	19740
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	25,41	25,12
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	29,21	28,01

- Espaçamento 4

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	-	259
Estaca Tipo II	peça	663	3280
Estaca Tipo III	peça	9793	11702
Estaca Tipo IV	peça	13210	14082
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	26,19	22,75
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	19,54	19,18

- Espaçamento 5

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	6	785
Estaca Tipo II	peça	1343	2752
Estaca Tipo III	peça	6566	8790
Estaca Tipo IV	peça	10593	9310
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	15,9	16,64
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	10,17	10,34

- Espaçamento 6

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	89	1050
Estaca Tipo II	peça	1542	2313
Estaca Tipo III	peça	5095	5604
Estaca Tipo IV	peça	5405	5795
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	11,33	8,3
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	7,97	7,81

- Espaçamento 7

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	-
Esticador	peça	-	-
Estaca Tipo I	peça	274	1304
Estaca Tipo II	peça	1466	2136
Estaca Tipo III	peça	3273	3412
Estaca Tipo IV	peça	3986	3668
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	4,32	5,75
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	5,54	4,56

- Espaçamento 8

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	2
Esticador	peça	-	46
Estaca Tipo I	peça	444	1178
Estaca Tipo II	peça	1052	1189
Estaca Tipo III	peça	2059	2258
Estaca Tipo IV	peça	2537	2355
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	2,87	3,96
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	4,08	3,799

- Espaçamento 9

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	23
Esticador	peça	19	105
Estaca Tipo I	peça	566	661
Estaca Tipo II	peça	372	448
Estaca Tipo III	peça	913	860
Estaca Tipo IV	peça	776	754
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	1,43	1,59
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	1,8	1,73

- Espaçamento 10

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	-
Pilar	peça	-	23
Esticador	peça	19	105
Estaca Tipo I	peça	566	661
Estaca Tipo II	peça	372	448
Estaca Tipo III	peça	913	860
Estaca Tipo IV	peça	776	754
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	1,43	1,59
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	1,8	1,73

- Espamento 11

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	4
Pilar	peça	-	117
Esticador	peça	20	105
Estaca Tipo I	peça	313	352
Estaca Tipo II	peça	263	342
Estaca Tipo III	peça	532	483
Estaca Tipo IV	peça	526	588
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	1,22	0,72
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	1,06	0,72

- Espaçamento 12

Tipo	Unidade	36 meses Quantidade	48 meses Quantidade
IV	peça	-	4
Pilar	peça	-	53
Esticador	peça	20	108
Estaca Tipo I	peça	136	226
Estaca Tipo II	peça	200	184
Estaca Tipo III	peça	322	320
Estaca Tipo IV	peça	321	283
Lenha	m ³ .ha ⁻¹	0,54	1,004
Resíduo	m ³ .ha ⁻¹	0,71	0,48