

**Distribuição Diamétrica e Altimétrica
do Híbrido *Eucalyptus urophylla* x
Eucalyptus grandis em Sistema
Agrossilvipastoril**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 317

Distribuição Diamétrica e Altimétrica do Híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em Sistema Agrossilvipastoril

*Sebastião Pires de Moraes Neto
Karina Pulrolnik
Lourival Vilela
Robélio Leandro Marchão
Roberto Guimarães Júnior
Giovana Alcantara Maciel*

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente no link:
<http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/bolpd>

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970 Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
<https://www.embrapa.br/cerrados>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Claudio Takao Karia*
Secretária-Executiva: *Marina de Fátima Vilela*
Secretárias: *Maria Edilva Nogueira*
Alessandra S. Gelape Faleiro

Supervisão editorial: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*
Revisão: *Jussara Flores de Oliveira Arbues*
Normalização bibliográfica: *Fabio Lima Cordeiro*
Editoração eletrônica: *Wellington Cavalcanti*
Capa: *Wellington Cavalcanti*
Foto da capa: *Karina Pulrolnik*
Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*
Divino Batista de Souza

1ª edição

1ª impressão (2014): tiragem 100 exemplares
Edição online (2014)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) **Embrapa Cerrados**

D614 Distribuição Diamétrica e Altimétrica do Híbrido *Eucalyptus urophylla* x
Eucalyptus grandis em Sistema Agrossilvipastoril / Sebastião Pires de
Moraes Neto et al. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2014.

26 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados,
ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X, 317).

1. *Eucalyptus urophylla*. 2. *Eucalyptus grandis*. 3. Funções probabilísticas.
4. Funções de distribuições empíricas. 5. Testes de aderência. 6. Estatura da
Planta. I. Moraes Neto, Sebastião Pires de. II. Série.

634.973766 – CDD-21

© Embrapa 2014

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	14
Conclusões.....	24
Referências	25

Distribuição Diamétrica e Altimétrica do Híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em Sistema Agrossilvipastoril

Sebastião Pires de Moraes Neto¹; Karina Pulrolnik²; Lourival Vilela³;
Robélio Leandro Marchão⁴; Roberto Guimarães Júnior⁵;
Giovana Alcantara Maciel⁶

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo testar funções de densidade de probabilidade para as variáveis diâmetro (DAP – diâmetro à altura do peito) e altura total do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em dois arranjos do componente arbóreo (Tratamento E22: renques de 2 linhas e distância entre renques de 22 m e Tratamento E12: renques de 2 linhas e distância entre renques de 12 m) e duas idades: 30 e 54 meses do plantio. Os dados provieram da medição dos diâmetros e alturas totais de amostra de 480 árvores implantadas em área da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF. Foram ajustadas quatro funções: Normal, Ln-Normal, Weibull e Gamma. Os critérios de seleção foram os testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer-von Mises e Qui-quadrado. A função de distribuição de Weibull foi aderente na maioria das combinações de tratamentos, idades e variáveis analisadas.

Termos para indexação: funções probabilísticas; funções de distribuições empíricas, testes de aderência.

¹ Engenheiro-florestal, D.Sc. em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Cerrados, sebastiao.moraes@embrapa.br

² Engenheira-florestal, D.Sc. em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, karina.pulrolnik@embrapa.br

³ Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, lourival.vilela@embrapa.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, robelio.marchao@embrapa.br

⁵ Médico-veterinário, D.Sc. em Ciência Animal, pesquisador da Embrapa Cerrados, roberto.guimaraes-junior@embrapa.br

⁶ Zootecnista, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Cerrados, giovana.maciel@embrapa.br

Diametric and Altimetric Distributions of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* Hybrid in Agricultural-Forestry-Pasture System

Abstract

This study aimed to test probability density functions for the distribution of variables diameter (DBH) and total height of Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis hybrid in two arrangements [bands of 2 lines and distance between bands of 22 m (Treatment E22) and bands of 2 lines and distance between bands of 12 m (Treatment E12) both at 30 and 54 months after planting]. Data were obtained from the measurement of diameter (BHD – breast height diameter) and total height of sample of 480 trees implanted in Embrapa Cerrados area in Planaltina-DF, Brazil. Four functions were fitted: Normal, Lognormal, Weibull and Gamma. Selection criteria included Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramer–von Mises and Chi-square adherence tests. The Weibull distribution function was adherent on the most combinations of treatments, ages and analyzed variables.

Index terms: probability functions; empirical distribution functions, adherence tests.

Introdução

Entre as inúmeras espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil, o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* merece destaque nas regiões tropicais, livres de geadas ou com geadas raras e com precipitações anuais superiores a 1.200 mm, devido a sua alta taxa de crescimento e características da madeira que são próprias para multíusos. De acordo com Carvalho e Nahuz (2001) e Almeida (2002), esse híbrido pode ser utilizado para papel e celulose, lenha, carvão vegetal, serraria em geral, construção civil, móveis, pontaletes, laminação e postes. Quando tratados com preservativos da madeira, podem ser utilizados também como estacas e mourões. Por essas qualidades econômicas, estudos sobre seu manejo são justificáveis, pois dados sobre distribuição de diâmetro e altura são essenciais para o produtor florestal. O conhecimento de distribuições de diâmetro, altura, área basal e volume é um requisito primordial para garantir um bom manejo florestal (MACHADO et al., 2010).

A distribuição diamétrica é a ferramenta mais simples e poderosa para caracterizar a estrutura de uma floresta. De modo geral, o diâmetro se correlaciona muito bem com outras variáveis importantes como altura, volume, valor, custo de conversão e tipificação de produtos (BAILEY; DELL, 1973). Com o conhecimento da estrutura diamétrica, é possível avaliar o comportamento da espécie, tendo em vista os vários fatores que possam interferir em seu crescimento, entre eles, o manejo e as atividades de exploração comercial (BARTOSZECK et al., 2004). A distribuição diamétrica pode ser representada na forma de tabela, histograma de frequências ou de um modelo, neste último caso, as Funções de Densidade Probabilísticas (FDPs). Os modelos de distribuição diamétrica têm sido bastante utilizados, tanto em plantios florestais como em florestas nativas, pois fornecem informações detalhadas quanto à estrutura das florestas.

A distribuição de altura é um componente importante do manejo, pois, junto com o diâmetro e o fator de forma da árvore, propicia o cálculo do volume. Os estudos dessa distribuição ainda são incipientes no Brasil devido em parte a dificuldade de sua medição, contudo, nos dias atuais, com aparelhos a laser e ultrassom, esses empecilhos estão sendo minimizados.

Trabalhos de FDPs para distribuição diamétrica e altimétrica têm sido realizados com frequência nos últimos cinco anos: Binoti et al. (2010), Machado et al. (2010), Ferreira (2011), Stepka et al. (2011), Téo et al. (2012) e Souza et al. (2013), entre outros. Na maioria desses trabalhos, as FDPs Normal, Ln-Normal, Weibull e Gamma, que fazem parte deste estudo, foram usadas.

Apesar de existirem estudos de distribuição diamétrica e altimétrica em eucalipto no regime de plantio puro usando funções de densidade probabilística (FDPs), estudos com FDPs em sistema agrossilvipastoril no Brasil são raros para essas duas variáveis. Portanto, este trabalho tem como objetivo, testar funções de densidade de probabilidade em sistema agrossilvipastoril com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* ("*Eucalyptus urograndis*") em duas idades.

Material e Métodos

O experimento está sendo conduzido na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. O experimento de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) foi implantado em janeiro de 2009 em área anteriormente ocupada durante 6 anos por pastagem degradada de *Brachiaria brizantha*. A área experimental está localizada na latitude 15°36'38.82" S e longitude 47°42'13.63" W, com altitude de 980 m e possui precipitação anual média de 1.346 mm concentrada nos meses de outubro a abril, temperatura anual média de 21,9 °C e a classificação climática, segundo Köppen, é Aw. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho, com textura argilosa. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área do experimento nas camadas de 0 cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm de profundidade.

Camada (cm)	pH (H ₂ O)	P mg/L	K mg/L	Al -----cmolc/dm ³ -----	Ca	Mg	H+Al	T	V %	MO %
0-20	5,55	0,48	67,24	0,14	1,45	0,86	4,41	6,90	35,70	2,86
20-40	5,47	0,64	33,44	0,23	0,96	0,57	4,19	5,81	27,37	2,32

Os tratamentos experimentais foram definidos pelos espaçamentos entre plantas das espécies florestais e entre renques, gerando diferentes populações de plantas das espécies florestais (Tabela 2). A área experimental compreende aproximadamente 20 ha de plantas nativas e pastagem, com base em diferentes arranjos espaciais de eucalipto. No ano de 2007, a área recebeu em cobertura, conforme recomendação obtida pela análise química do solo, as doses de 2,0 t/ha e 800 kg/ha de calcário e gesso agrícola, respectivamente. Os tratamentos, parcelas de 1,4 ha, foram distribuídos em blocos ao acaso com três repetições.

As mudas de "*Eucalyptus urograndis*" foram obtidas de viveiro comercial local, por meio de sementes. As linhas de plantio foram dessecadas com glifosato e foi realizado o controle do ataque de formigas na área experimental e áreas adjacentes. No plantio, as plantas de eucalipto ("*E. urograndis*") foram adubadas com 150 g de NPK (0-20-20) na cova e as plantas nativas receberam 150 g de NPK (8-20-15 + micro) na cova de plantio. Nas faixas intercalares, entre renques das espécies florestais e no tratamento testemunha, foi cultivado sorgo (plantio direto) no primeiro ano (2009) e soja (plantio direto) no segundo ano (2009-2010). No terceiro ano (2011-2012), foi cultivada soja precoce e, logo após a colheita da soja, foi cultivado sorgo + capim. Após a colheita do sorgo, o componente animal foi introduzido na área.

Tabela 2. Relação dos tratamentos experimentais (sistemas) em implantação na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF.

Sistema ¹				Espaçamento (m)		No de linhas do renque	Densidade (árvores/ha)
Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Entre árvores	Entre renques		
L	L	L	P	–	–	–	sem árvore
L+Eu	L+Eu	L+Eu	P+Eu	2 x 2	22	2	417
L+Eu	L+Eu	L+Eu	P+Eu	2 x 2	12	2	715
L+Ec	L+Ec	L+Ec	P+Eu	2 x 2	22	7	1030
L+N	L+N	L+N	P+N	4 x 4	12	2	313

¹L – Lavoura de grãos; P – Pastagem consorciada; Eu – *Eucalyptus urograndis*;

Ec – *Eucalyptus cloeziana*; N – Espécies nativas arbóreas.

Para facilidade de identificação dos tratamentos utilizados, fez-se a seguinte padronização:

- Tratamento E22: povoamento de "*Eucalyptus urograndis*" com renques de 2 linhas e espaçamento entre renques de 22 m.
- Tratamento E12: povoamento de "*Eucalyptus urograndis*" com renques de 2 linhas e espaçamento entre renques de 12 m.

Foram amostradas 120 árvores para cada tratamento e idade (30 e 54 meses do plantio), num total de 480 árvores medidas (diâmetro do tronco à altura do peito e altura total). Utilizou-se para as medições clinômetro eletrônico para a altura; suta mecânica para o diâmetro; e trena a laser para aferir a distância entre a árvore e o avaliador. A base de dados de diâmetro e altura foi agrupada em número de classes variáveis e tamanho do intervalo de classe constante, em que: para o diâmetro, a amplitude foi de 2 cm e, para a altura, de 2 m. O agrupamento de dados foi realizada de forma empírica, norteando-se pela fórmula de Sturges (MACHADO et al., 2010), amplitude dos dados, desvios entre as frequências dos centros de classe dos histogramas e curvas de funções probabilísticas.

As quatro funções de densidade de probabilidade (FDPs) testadas com respectivas restrições são apresentadas na sequência. Utilizando os dados não agrupados, o ajuste das funções foi realizado como auxílio do aplicativo do programa SAS, denominado Proc Capability (Equações 1, 2, 3 e 4).

Normal:

$$p(x) = \frac{h100}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right) \text{ para } -\infty < x < \infty \quad (1)$$

Em que:

μ = média

σ = desvio padrão ($\sigma > 0$)

h = largura do intervalo de classes do histograma

Ln Normal:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{h100}{\sigma\sqrt{2\pi(x-\theta)}} \exp\left(-\frac{(\log(x-\theta)-\varphi)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{para } x > \theta \\ 0 & \text{para } x \leq \theta \end{cases} \quad (2)$$

Em que:

θ = parâmetro de localização

φ = parâmetro de escala

σ = parâmetro de forma ($\sigma > 0$)

h = largura do intervalo de classes do histograma

Weibull:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{ch100}{\beta} \left(\frac{x-\theta}{\beta} \right)^{c-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\theta}{\beta} \right)^c\right) & \text{para } x > \theta \\ 0 & \text{para } x \leq \theta \end{cases} \quad (3)$$

Em que:

θ = parâmetro de localização

β = parâmetro de escala ($\beta > 0$)

c = parâmetro de forma ($c > 0$)

h = largura do intervalo de classes do histograma

Gamma:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{h100}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \left(\frac{x-\theta}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp\left(-\left(\frac{x-\theta}{\beta} \right)\right) & \text{para } x > \theta \\ 0 & \text{para } x \leq \theta \end{cases} \quad (4)$$

Em que:

θ = parâmetro de localização

β = parâmetro de escala ($\beta > 0$)

α = parâmetro de forma ($\alpha > 0$)

h = largura do intervalo de classes do histograma

$\Gamma(\alpha)$ símbolo da função gama em α definido conforme a Equação 5.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (5)$$

Após agrupamento dos dados nas classes, a seleção da melhor função de densidade de probabilidade foi realizada pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS), Anderson-Darling (A-Sq), Cramer-von Mises (W-Sq) e Qui-quadrado (χ^2) (D'AGOSTINO; STEPHENS, 1986, CARELLI NETO, 2008). Para os testes, utilizou-se o nível de significância de 10%, em que, acima desse valor, a FDP se ajusta aos dados observados e, abaixo, não se ajusta aos dados observados. As FDPs foram consideradas adequadas quando todos os quatro testes de aderência tiveram resultados não significativos de acordo com o procedimento adotado no manual do programa computacional usado (SAS INSTITUTE INC, 2011). Utilizou-se o mesmo programa para estatística descritiva de dados estimados pela FDP de Weibull.

Para descrever as formas e a evolução das curvas de distribuição, procedeu-se ao cálculo dos coeficientes de assimetria (AS) e curtose (C), como descrito em Jangarelli (2012) e Balieiro (2013). O coeficiente de assimetria (AS) foi obtido por meio da seguinte fórmula:

$$AS = \frac{\bar{X} - Mo}{s}$$

Em que:

$\bar{X}$ = média da variável medida

Mo = mediana

s = desvio padrão

De acordo com o coeficiente de assimetria de Pearson (AS), a distribuição pode ser classificada como:

- Simétrica, se $|AS| < 0,15$
- Moderadamente assimétrica, se $0,15 \leq |AS| \leq 1$
- Fortemente Assimétrica, se $|AS| > 1$

O parâmetro de curtose (C) pode ser medida pela seguinte expressão:

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

Em que:

Q_3 = Terceiro quartil

Q_1 = Primeiro quartil

P_{90} = 90º percentil

P_{10} = 10º percentil

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pelos quatro testes de aderência em relação à distribuição diamétrica nos dois tratamentos (E22 e E12) e nas duas idades são apresentados na Tabela 3. Na idade de 30 meses, observa-se que, nos dois tratamentos, praticamente todas as funções de densidade de probabilidade (FDPs) foram adequadas aos dados observados, com exceção da função gama no Tratamento E12. Essas observações podem ser conferidas na Figura 1, em que, no Tratamento E22, as quatro FDPs mostraram-se praticamente coincidentes. Já no Tratamento E12, nota-se a discordância da função gama em relação às outras funções. Quando se compara as frequências por intervalos de classe, percebe-se maior frequência de árvores no centro de classe de 10 cm para o Tratamento E22 e 12 cm para o Tratamento E12. No centro de classe de 14 cm de DAP, o Tratamento E22 apresentou maior frequência de plantas do que no Tratamento E12.

Aos 54 meses do plantio, os testes de aderência mostraram adequabilidade entre as FDPs e os dados observados nos dois

tratamentos (Figura 1), com exceção da função gama no Tratamento E12 (Tabela 3), já que, no teste Qui-quadrado – que é calculado em função das frequências dos centros de classes da variável analisada –, não houve significância. Esse é um dos motivos restritivos do Qui-quadrado em comparação com as funções de distribuições empíricas (FDEs): Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Cramér-von Mises, que são testes mais robustos e mostram invariância com respeito aos pontos médios dos intervalos de classe (SAS INSTITUTE INC, 2011). As maiores frequências de plantas nos dois tratamentos foram no centro de classe de 18 cm de diâmetro. No centro de classe de 22 cm, houve maior frequência de plantas no Tratamento E22. Esse fato pode estar relacionado com maior espaço explorado pelas raízes e maior incidência solar no início da manhã e final da tarde comparativamente ao Tratamento E12.

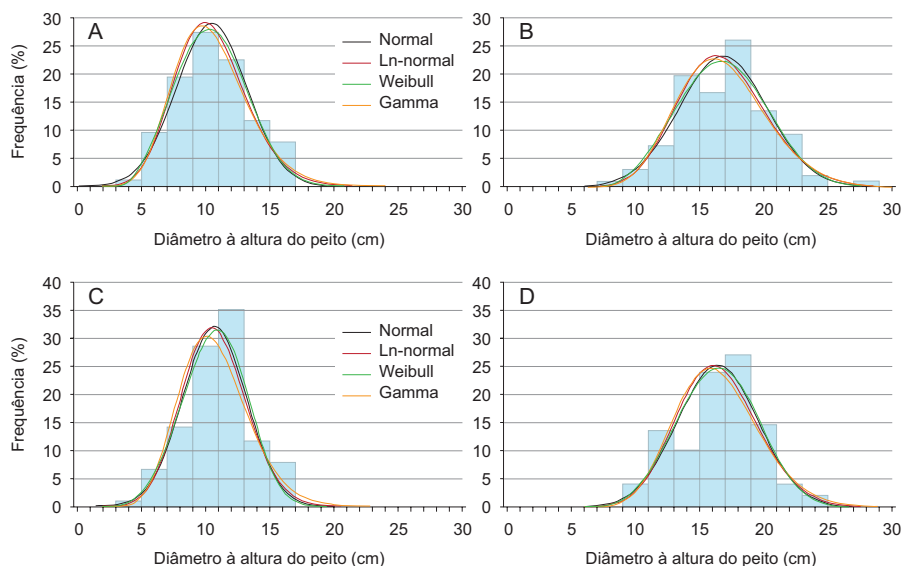


Figura 1. Frequência observada e estimada das funções de distribuição de DAP (N = 120).

(A) Tratamento E22 e idade de 30 meses após o plantio.

(B) Tratamento E22 e idade de 54 meses.

(C) Tratamento E12 e idade de 30 meses.

(D) Tratamento E12 e idade de 54 meses.

Tabela 3. Probabilidades dos testes de aderência para as quatro FDPs, aos 30 e 54 meses do plantio de “*Eucalyptus urograndis*”, em relação à distribuição de DAP dos troncos nos dois tratamentos.

Idade (meses)	Função	Diâmetro à altura do peito (DAP) (cm)			
		Testes de aderência			
		KS	W-Sq	A-Sq	χ^2
Tratamento E22					
30	Normal	0,150	0,250	0,250	0,306
	Ln-normal	0,500	0,500	0,500	0,490
	Weibull	0,500	0,500	0,500	0,512
	Gamma	0,250	0,500	0,500	0,733
Tratamento E12					
30	Normal	0,250	0,250	0,250	0,161
	Ln-normal	0,145	0,099	0,146	0,121
	Weibull	0,250	0,500	0,500	0,140
	Gamma	0,063	0,025	0,036	0,077
Tratamento E22					
54	Normal	0,150	0,250	0,250	0,234
	Ln-normal	0,250	0,250	0,250	0,469
	Weibull	0,500	0,500	0,500	0,147
	Gamma	0,250	0,250	0,250	0,537
Tratamento E12					
54	Normal	0,150	0,210	0,206	0,224
	Ln-normal	0,076	0,017	0,019	0,140
	Weibull	0,250	0,145	0,128	0,260
	Gamma	0,067	0,020	0,027	0,160

Em que: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling.
 χ^2 = Qui-quadrado; se $P \geq 0,100$, a FDP se ajusta aos dados observados; se $P < 0,100$ a FDP não se ajusta aos dados observados.

Santos et al.(2013), em estudo sobre a modelagem da estrutura diamétrica de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* de povoamento no Estado do Amapá – no qual utilizaram as mesmas FDPs do presente trabalho, ressaltando que as funções Ln-Normal e Gamma foram testadas com somente dois parâmetros –, observaram que a função de distribuição de Weibull com três parâmetros foi a que melhor se ajustou aos dados. Binoti et al. (2010) também empregaram a função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica em um clone híbrido de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) em povoamento localizado na região Nordeste da Bahia. Observaram que, nas idades de 27 meses e 58 meses, a função Weibull foi aderente aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 1 % de probabilidade. Poucos estudos foram feitos considerando-se o parâmetro de locação na projeção da distribuição diamétrica, porém a presença desse parâmetro aumenta a precisão do ajuste da função Weibull (BINOTI, 2008).

Em estudo da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos, utilizando as mesmas FDPs do presente trabalho, com as funções Ln-normal, Weibull e Gamma com 2 parâmetros, Carelli Neto (2008) observou que, nas idades de 6, 8 e 10 anos, tanto para o espaçamento de 2 m x 2 m quanto para o de 2 m x 3 m, a distribuição normal apresentou o melhor ajuste. Por sua vez, Arce (2004) estudou a estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* por meio de distribuições diamétricas probabilísticas, entre as quais se encontravam as funções Normal, Gamma, e Weibull com dois e três parâmetros. Observou que, entre as idades de 1 a 9 anos, as funções citadas caracterizaram eficientemente a evolução da distribuição diamétrica no tempo. Por seu turno, Carrijo et al. (2008) observaram que o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores seguiram a distribuição normal em três povoamentos de *Eucalyptus grandis* de 30, 41 e 46 meses de idade, na região de Cascavel-PR.

Em relação à distribuição de altura das árvores, aos 30 meses do plantio (Tabela 4), não houve aderência das funções de densidade de probabilidade (FDPs) no tratamento E22 em relação aos dados

observados (Figura 2). No Tratamento E12, nota-se aderência das FDPs aos dados observados (Tabela 4 e Figura 2). Comparando as frequências das árvores por classe de altura, observa-se, na classe de 12 m, maiores valores nos dois tratamentos. No Tratamento E12, a frequência foi superior ao do Tratamento E22, na classe de 14 m, enquanto neste, a frequência foi maior do que no Tratamento E12, na classe de 18 m.

Tabela 4. Probabilidades dos testes de aderência para as quatro FDPs, aos 30 e 54 meses do plantio de *Eucalyptus urograndis*, em relação à distribuição de altura nos dois tratamentos.

Idade (meses)	Função	Altura total (m)			
		Testes de aderência			
		KS	W-Sq	A-Sq	χ^2
Tratamento E22					
30	Normal	0,010	0,005	0,005	0,033
	Ln-normal	0,029	0,045	0,049	0,109
	Weibull	0,005	0,030	0,046	0,097
	Gamma	0,010	0,029	0,044	0,142
Tratamento E12					
30	Normal	0,150	0,250	0,250	0,632
	Ln-normal	0,250	0,250	0,128	0,395
	Weibull	0,250	0,250	0,244	0,669
	Gamma	0,500	0,250	0,250	0,552
Tratamento E22					
54	Normal	0,150	0,250	0,250	0,968
	Ln-normal	0,250	0,250	0,250	0,853
	Weibull	0,500	0,500	0,500	0,996
	Gamma	0,250	0,250	0,250	0,878

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Idade (meses)	Função	Altura total (m)			
		Testes de aderência			
		KS	W-Sq	A-Sq	χ^2
Tratamento E12					
54	Normal	0,079	0,086	0,070	0,032
	Ln-normal	0,014	0,013	0,007	0,012
	Weibull	0,500	0,250	0,500	0,384
	Gamma	0,017	0,006	0,004	0,010

Em que: KS = Kolmogorov-Smirnov; W-Sq = Cramer-von Mises; A-Sq = Anderson-Darling;
 χ^2 = Qui-quadrado; se $P \geq 0,100$, a FDP se ajusta aos dados observados; se $P < 0,100$, a FDP não se ajusta aos dados observados.

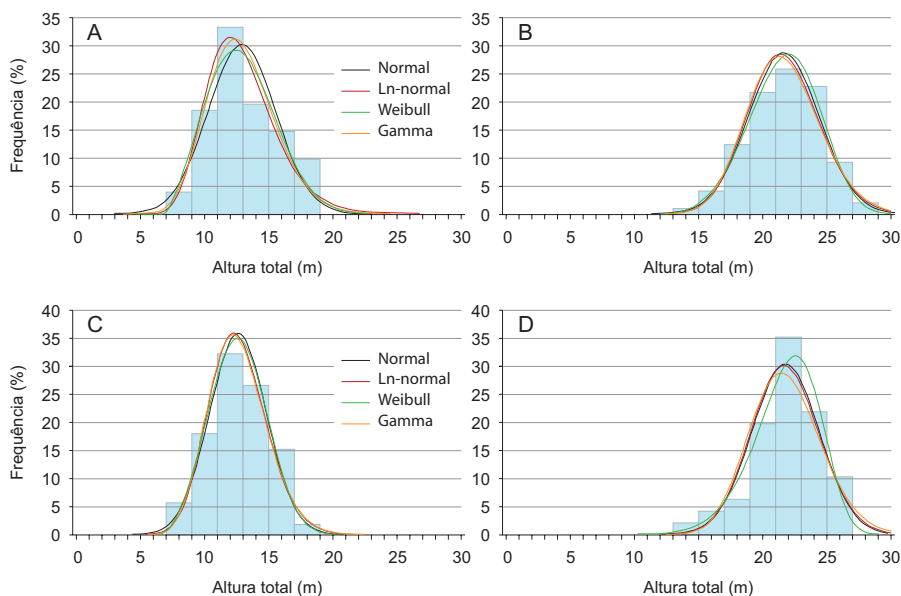


Figura 2. Frequência observada e estimada das funções de distribuição de Altura (N = 120).

(A) Tratamento E22 e idade de 30 meses após o plantio.

(B) Tratamento E22 e idade de 54 meses.

(C) Tratamento E12 e idade de 30 meses.

(D) Tratamento E12 e idade de 54 meses.

Quanto à distribuição de altura das árvores aos 54 meses do plantio, verifica-se aderência de todas FDPs aos dados observados no Tratamento E22, visualizado na Figura 2 (Tabela 4). Contudo, no Tratamento E12, somente a FDP de Weibull mostrou-se aderente aos dados observados (Tabela 4 e Figura 2). Em relação às frequências observadas, os maiores valores, nos dois tratamentos, foram no centro de classe de 22 m, sendo a frequência nessa classe maior no Tratamento 12.

Em estudo sobre a distribuição de altura de *Araucaria angustifolia* em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Curitiba, Machado et al. (2010) testaram 10 modelos, entre os quais, Normal, Ln-normal, Weibull e Gamma, os três últimos com três parâmetros. Verificaram que esses quatro modelos aderiram aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade.

Souza et al. (2013) avaliaram o efeito do sítio e da idade na distribuição de alturas de bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba, testando seis funções de densidade de probabilidade (FDP), das quais, 4 são similares ao do presente trabalho. Observaram que, aos 5 anos de idade, a função de distribuição Normal representou significativamente os dados observados.

Koehler et al. (2010) testaram 5 FDPs para a variável altura, entre as quais, Weibull e Gamma (com três parâmetros) e Normal em povoamento de *Araucaria angustifolia* de 7 anos em Tijucas do Sul, PR. Observaram que as FDPs Weibull e Gama foram aderentes aos dados observados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de probabilidade.

Os coeficientes estimados para as funções de densidade de probabilidade estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que os parâmetros de localização (θ) foram, em sua maioria, negativos para as FDPs Ln-Normal e Gamma e, o parâmetro de forma σ foi sempre menor que 1 na função Ln-Normal.

Tabela 5. Coeficientes estimados para as FDPs testadas.

FDPs e seus coeficientes		DAP (cm)				Altura total (m)			
		T1/Idade (meses)		T2/Idade (meses)		T1/Idade (meses)		T2/Idade (meses)	
		30	54	30	54	30	54	30	54
Normal	μ	10,46	16,83	10,69	16,41	–*	21,65	12,59	–
	σ	2,74	3,43	2,48	3,16	–	2,76	2,22	–
Ln-Normal	θ	–10,86	–15,43	–	–	–	–24,55	–8,67	–
	ϕ	3,0512	3,47	–	–	–	3,83	3,05	–
	σ	0,130	0,107	–	–	–	0,060	0,105	–
Weibull	θ	3,08	7,00	1,94	6,69	–	10,90	6,25	4,36
	β	8,27	10,98	9,66	10,82	–	11,79	7,09	18,51
	χ	2,96	3,145	3,99	3,46	–	4,46	3,20	7,96
Gamma	θ	–0,393	–0,566	–	–	–	–0,705	–0,251	–
	β	0,758	0,722	–	–	–	0,363	0,400	–
	α	14,47	24,11	–	–	–	61,62	32,14	–

– * Pelo menos em um dos testes não houve aderência aos dados.

Na Tabela 6, são apresentados valores estimados de DAP e altura total dos dois povoamentos de eucalipto pela função densidade de probabilidade (FDP) de Weibull de acordo com os percentis em duas idades. Para a distribuição diamétrica, observa-se que o povoamento de eucalipto do Tratamento E22 apresentou 5% dos valores acima de 15,1 cm aos 30 meses de idade e de 22,6 cm aos 54 meses de idade. As médias dos dois tratamentos nas duas idades praticamente se igualaram com a mediana e a moda, indicando serem distribuições simétricas. Em relação à distribuição altimétrica, nota-se que o povoamento de eucalipto do tratamento E22 apresentou 5% dos valores acima de 16,2 m aos 30 meses de idade e de 26,0 m aos 54 meses. As médias dos dois tratamentos nas duas idades foram similares.

Comparando a média, mediana e moda para cada Tratamento dos povoamentos de eucalipto, houve equivalência nos valores somente no Tratamento E12.

Tabela 6. Valores estimados de DAP (cm) e Altura Total (m) pela FDP de Weibull de acordo com os percentis para os povoamentos de eucalipto dos dois tratamentos em duas idades.

Percentil	Quantil							
	DAP (30 meses)		DAP (54 meses)		Altura (30 meses)		Altura (54 meses)	
	Trat E22	Trat E12	Trat E22	Trat E12	Trat E22	Trat E12	Trat E22	Trat E12
1,0	4,8	5,0	9,5	9,6	7,9	7,9	15,1	14,7
5,0	6,1	6,5	11,3	11,3	8,9	9,0	17,0	17,1
10,0	6,9	7,4	12,4	12,3	9,6	9,8	18,0	18,3
25,0	8,5	9,0	14,4	14,2	11,0	11,0	19,8	20,2
50,0 ⁽¹⁾	10,4	10,7	16,8	16,4	12,7	12,6	21,8	22,0
75,0	12,3	12,4	19,2	18,6	14,6	14,1	23,6	23,6
90,0	14,0	13,8	21,3	20,5	16,4	15,4	25,1	24,9
95,0	15,1	14,6	22,6	21,5	17,5	16,2	26,0	25,6
99,0	16,9	16,1	24,8	23,5	19,5	17,7	27,5	26,8
Média	10,5	10,7	16,8	16,4	12,9	12,6	21,6	21,8
Moda	10,2	10,7	16,8	16,4	12,3	12,6	22,2	22,4
D.P. ⁽²⁾	2,72	2,5	3,4	3,1	2,6	2,2	2,7	2,6

⁽¹⁾Mediana; ⁽²⁾Desvio-padrão.

Na Tabela 7, são apresentados os parâmetros de assimetria e curtose da distribuição da distribuição diamétrica e altimétrica dos povoamentos de “*Eucalyptus urograndis*” em dois arranjos espaciais (Tratamentos E22 e 12) em duas idades. As assimetrias das distribuições diamétricas dos povoamentos de “*Eucalyptus urograndis*” em todos tratamentos,

utilizando a distribuição de Weibull, foram consideradas simétricas. Na distribuição altimétrica, utilizando também a distribuição de Weibull, com as plantas aos 30 meses de idade, apresentaram assimetria moderada positiva no Tratamento E22, ou seja, a moda é menor que a média e mediana e, simetria, no Tratamento E12. Quanto à curtose, a distribuição diamétrica das plantas em todos os tratamentos foram platicúrticas (coeficiente de curtose $> 0,263$). A curtose na distribuição altimétrica das árvores foi platicúrtica na idade de 30 meses nos dois tratamentos e, aos 54 meses no Tratamento E22. Foi leptocúrtica (coeficiente de curtose $< 0,263$) no tratamento E12 aos 54 meses. Em termos práticos, se a assimetria da distribuição de diâmetro ou de altura for negativa, comparado a assimetria positiva ou simetria, com curtoses e frequência das modas praticamente idênticos, as distribuições com assimetria negativa teriam uma maior frequência de valores maiores de diâmetro e altura em relação às distribuições assimétrica positiva e simétrica e provavelmente no(s) intervalo(s) de classe(s) subsequente(s). Isso pode ser observado na distribuição de diâmetro e altura aos 30 meses de idade, em que a frequência de árvores na moda do Tratamento E12 apresentou maiores valores do que na frequência da moda do Tratamento E22 (Figura 2 e Tabela 6). Já na distribuição de diâmetro das árvores do Tratamento E22 aos 54 meses de idade do plantio, a cauda à direita se estendeu por mais dois intervalos de classe, denotando uma tendência de haver algumas árvores com DAPs maiores do que no Tratamento E12 no extremo superior das distribuições. Isso pode contribuir, no futuro, em árvores com maior valor agregado para serraria, favoravelmente ao Tratamento E22, desde que mantidas condições de não desbaste. Caso haja desbastes seletivos pode ser que essa diferença passe a não existir.

Em clones de eucalipto de 60 meses, Ferreira (2011) observou que a distribuição diamétrica é considerada do tipo assimétrica positiva, apresentando-se como leptocúrtica. Em povoamentos de *Pinus taeda*, com idades variando entre 60 a 72 meses, Teo et al. (2012) observaram que, em todos os sítios testados, as distribuições diamétricas apresentaram assimetrias negativas e leptocúrticas.

Tabela 7. Assimetria e curtose da distribuição diamétrica e altimétrica de povoamentos de “*Eucalyptus urograndis*” utilizando a distribuição de probabilidade de Weibull.

Idade (meses)	Tratamentos	Assimetria (AS)	Curtose (C)
Distribuição Diamétrica			
30	E22	0,11	0,268
30	E12	0	0,266
54	E22	0	0,270
54	E12	0	0,268
Distribuição Altimétrica			
30	E22	0,23	0,265
30	E12	0	0,277
54	E22	– 0,22	0,268
54	E12	– 0,23	0,258

Conclusões

As funções densidade de probabilidade (FDP) Normal e Weibull foram aderentes aos dados observados de eucalipto, em relação à distribuição diamétrica, para os dois tratamentos nas duas idades.

Em relação à distribuição altimétrica, a FDP de Weibull só não foi aderente aos dados observados no Tratamento E22 aos 30 meses de idade.

Cinco por cento das maiores árvores em relação ao DAP e Altura total de cada um dos tratamentos, de acordo com valores estimados da FDP de Weibull, tiveram média de valores superiores no Tratamento E22, comparativamente ao Tratamento E12.

Considerando os modelos de Weibull, a distribuição de DAP, nos dois tratamentos e nas duas idades, foi simétrica e platicúrtica, enquanto, na distribuição de altura, as várias combinações de tratamentos com idades variaram de assimétrica moderada positiva a assimétrica moderada negativa e de platicúrtica a leptocúrtica.

Referências

- ALMEIDA, R. R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados.** 2002. 75 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Recursos Florestais na área de Tecnologia de Produtos Florestais) – ESALQ, USP, Piracicaba, SP, 2002.
- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* marsh através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, 2004.
- BAILEY, R. L.; DELL, T. R. Quantifying diameter distribution with the Weibull - function. **Forest Science**, Bethesda, v. 19, n. 2, p. 97-104, jun. 1973.
- BALIEIRO, J. C. C. **Introdução à estatística.** Pirassununga: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, 2013. 36 p.
- BARTOSZECK, A. C. P. S.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. A. Distribuição diamétrica para bracatingais em diferentes idades, sítios e densidades na Região Metropolitana de Curitiba. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 305-323, 2004.
- BINOTI, D. H. B. **Funções densidade de probabilidade para a descrição da distribuição diamétrica de povoamentos desbastados de *Tectona grandis*.** 2008. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.34, n.1, p.147-156, 2010.
- CARELLI NETO, C. **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L em diferentes idades e espaçamentos.** 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.
- CARRIJO, P. R.; BOTREL, M. C. G.; FAGUNDES, R. S. Avaliação da normalidade dos dados do diâmetro à altura do peito em florestas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na região de Cascavel – PR. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v.1, n.1, p. 95-106, 2008.
- CARVALHO, A. M.; NAHUIZ, M. A. R. Variação da madeira do híbrido *Eucalyptus grandis* x *urophylla* através da produção conjunta de madeira serrada em pequenas dimensões, celulose e lenha. **Scientia Forestalis**, n. 59, p.61-76, 2001.
- D'AGOSTINO, R. B., STEPHENS, M. A. **Goodness-of-fit techniques.** New York: Marcel Dekker, 1986. 286 p.

FERREIRA, J. C. S. **Análise de estrutura diamétrica em povoamentos de florestas plantadas a partir de funções de densidade de probabilidade**. 2011. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

JANGARELLI, M. **Estatística básica e introdução à bioestatística**. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Instituto de Ciências Exatas, 2012. 73 p.

KOHLER, A. B.; CORAIOLA, M.; PELLICO NETTO, S. Crescimento, tendências de distribuição das variáveis biométricas e relação hipsométrica em plantios jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Ktze., em Tijucas do Sul, PR. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 53-62, mar. 2010.

MACHADO, S. A. M.; NASCIMENTO, R. G. M.; MIGUEL, E. P.; TÉO, S. J.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D. Distribution of total height, transverse area and individual volume for *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Revista Cerne**, v.16, n.1, p.12-21, jan./mar., 2010.

SANTOS, R. O.; CORDEIRO, M. A.; PEREIRA, A. R. S.; ABREU, J. C. Modelagem da estrutura diamétrica de eucalipto no Estado do Amapá, Amazônia, Brasil. **Revista de Ciências da Amazônia**, Macapá, v. 1, n. 1, Resumo, 2013.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/QC® 9.3: user's guide**. Cary, NC: 2011. 2323 p.

SOUZA, R. F.; NASCIMENTO, R. G. M.; PELLICO NETTO, S.; MACHADO, S. A. Efeito de idade e sítio no ajuste de funções probabilísticas para altura de *Mimosa scabrella*. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 2, p. 271-280, abr./jun. 2013.

STEPKA, T. F.; LISBOA, G. S.; KURCHAIT, S. M. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 7, n. 3, p. 429-439, set./dez. 2011.

TÉO, S. J.; BIANCHI, J. C.; PELOSO, A.; NAVA, P. R.; MARCON, A.; EHLERS, T.; COSTA, R. H. Desempenho de funções de densidades probabilísticas para descrever a distribuição diamétrica de *Pinus taeda*, na região de Caçador, SC. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 741-754, out./dez. 2012.

