



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO *DEL-REI*
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL
CAMPUS SETE LAGOAS**

DANIELA DE AZEVEDO LADEIRA

**Modelagem de distribuição diamétrica de *Eucalyptus spp.* em sistema de
Integração Lavoura - Pecuária - Floresta**

Sete Lagoas, MG

2025

DANIELA DE AZEVEDO LADEIRA

**Modelagem de distribuição diamétrica de *Eucalyptus spp.* em sistema de
Integração Lavoura - Pecuária - Floresta**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Renato Vinícius Oliveira Castro

Sete Lagoas, MG

2025

DANIELA DE AZEVEDO LADEIRA

Modelagem de distribuição diamétrica de *Eucalyptus spp.* em sistema de Integração Lavoura - Pecuária - Floresta

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Sete Lagoas, 26 de fevereiro de 2025.

Banca avaliadora:

Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro, Orientador — UFSJ

Dr. Gustavo Eduardo Marcatti – UFSJ

Dra. Mayra Luiza Marques da Silva – UFSJ

Talento é 1% inspiração e 99% transpiração.
Thomas Edison

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à minha mãe e ao meu orientador Renato. Agradeço também à Embrapa Milho e Sorgo, à pesquisadora e minha antiga orientadora Flávia Santos, e à Fazenda Trijunção, cujas parcerias construíram e executaram este projeto.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	MATERIAL E MÉTODOS	9
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4	CONCLUSÕES.....	21
5	REFERÊNCIAS.....	21
6	ANEXO A.....	24

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar a modelagem de distribuição diamétrica de um povoamento de *Eucalyptus* spp. em ILPF utilizando a função Weibull com diferentes métodos e diferentes amplitudes de classe de diâmetro à altura do peito (DAP). O espaçamento de plantio foi de 25m entre renques e 2m entre plantas na linha, sendo um total de 15 renques de 400 m cada, totalizando 15 ha de área experimental. Os dados para a modelagem foram obtidos de 5 medições sucessivas, por meio de inventário florestal do tipo censo, aos 21, 31, 39, 49 e 61 meses. A função Weibull foi ajustada por diferentes métodos, testando amplitudes de classe de DAP de 1, 2, 3, 4 e 5cm. As variáveis do povoamento que tiveram melhor correlação com os parâmetros Weibull foram o diâmetro mínimo e o diâmetro quadrático. O método de Máxima Verossimilhança de Dois Parâmetros mostrou maior flexibilidade para descrever tendências de distribuição diamétrica ao longo do tempo, com o uso do método de ajuste de Máxima Verossimilhança. A amplitude de classe interferiu na precisão da prognose da distribuição diamétrica, e as estatísticas demonstraram que as amplitudes ideais foram de 2 e 3cm.

Palavras-chave: prognose, crescimento diamétrico, ILPF, amplitude de classe, função Weibull.

ABSTRACT

The objective of this study was to model the diameter distribution of an *Eucalyptus* spp. stand in an Integrated Crop-Livestock-Forestry System (ICLF) using the Weibull function with different methods and various diameter at breast height (DBH) class widths. The planting spacing was 25 m between rows and 2 m between plants within the row, with a total of 15 rows of 400 m each, covering an experimental area of 15 ha. The data for modeling were obtained from five successive measurements through a forest inventory census at 21, 31, 39, 49, and 61 months. The Weibull function was fitted using different methods, testing DBH class widths of 1, 2, 3, 4, and 5 cm. The stand variables that showed the highest correlation with the Weibull parameters were the minimum diameter and the quadratic diameter. The Two-Parameter Maximum Likelihood Method demonstrated greater flexibility in describing trends in diameter distribution over time, using the Maximum Likelihood fitting method. The class width influenced the accuracy of the diameter distribution prognosis, and statistical analyses indicated that the ideal class widths were 2 and 3 cm.

Keywords: prognosis, diameter growth, ICLF, class width, Weibull function

1 INTRODUÇÃO

A Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável, promovendo a utilização eficiente dos recursos naturais e aumentando a resiliência dos sistemas agropecuários. Os sistemas integrados oferecem múltiplos benefícios para os pilares ambiental, econômico e social. Vale destacar a significativa contribuição do componente arbóreo para a neutralização das emissões de gases de efeito estufa através do sequestro de carbono atmosférico, atendendo aos objetivos do desenvolvimento sustentável (Balbino, et. al., 2011).

A espécie florestal que se destaca na ILPF é o *Eucalyptus* spp. por possuir grande variabilidade genética e fácil acesso, além de ser uma planta de rápido crescimento em diferentes condições edafoclimáticas (Michalichen, et. al., 2022). Neste sistema de manejo há um crescimento mais robusto das árvores individuais devido ao maior espaçamento entre elas, resultando em troncos de maiores diâmetros que são altamente valorizados no mercado de madeira (Sereghetti, et. al., 2015). Dessa forma, é possível atender às demandas do mercado para a produção de diferentes produtos, principalmente madeira serrada para uso nobre.

A modelagem de crescimento e produção para os multiprodutos da madeira é de grande importância para a gestão sustentável da floresta e a maximização do lucro. A prognose da produção florestal é obtida através de modelos matemáticos que buscam estimar o crescimento de um povoamento e prever a produção florestal ao longo do tempo com precisão (Castro et. al., 2016). Isso permite aos gestores planejar operações de manejo, como desbastes e colheitas, de maneira eficiente (Werneburg, 2015), além de auxiliar a maximização do volume e a qualidade da madeira disponível (Téo, 2017). Esta análise é fundamental para o manejo eficiente; planejamento estratégico; otimização da produção; avaliação econômica e previsão da produtividade ao longo do tempo em diferentes técnicas de manejo florestal.

A modelagem da distribuição diamétrica (MDD) é uma dentre diversos modelos de crescimento e produção (Azevedo et al., 2016). Nela é possível projetar a frequência de árvores em cada classe de diâmetro, com base em dados atuais, possibilitando então a avaliação do crescimento da floresta. Dessa forma, é possível prever a variabilidade de tamanho das árvores e os possíveis multiprodutos madeireiros (EISFELD, 2004). A MDD se baseia em funções de densidade de probabilidade (f.d.p.) e dentre estas a que se destaca é a função Weibull por ser mais simples e flexível para os ajustes de distribuição diamétrica (Wendling et al., 2010). Além disto, seus parâmetros finais poder ser facilmente correlacionados com as variáveis da floresta (Orellana et al., 2017). Existem vários métodos para se ajustar uma f.d.p., e para a função

Weibull, sugere-se o método da máxima verossimilhança de dois parâmetros. (Orellana et al., 2017).

A escolha adequada da amplitude de classe utilizada na modelagem é fundamental para representar com precisão a distribuição dos diâmetros das árvores e a dinâmica do povoamento florestal. Classes de amplitude muito grande podem ocultar detalhes importantes sobre a estrutura do povoamento, enquanto classes muito pequenas podem introduzir ruídos nos dados (Araújo Júnior, et. al., 2013). Em florestas equiâneas, geralmente, são usadas amplitudes até 5cm, e em florestas inequiâneas, acima de 5cm (Araújo Júnior et. al., 2010). A amplitude de classe de 2 cm é amplamente utilizada para plantios convencionais de eucalipto no Brasil, especialmente em estudos de crescimento e produção (Campos et. al., 2017; Machado et. al., 2013). Já em sistemas integrados ainda não há um consenso científico sobre qual a amplitude de classe ideal para ajustes na modelagem.

Os plantios convencionais de *Eucalyptus spp.* são consolidados no Brasil há décadas, e a versatilidade da espécie inspirou muitos estudos sobre suas características biológicas, diferentes técnicas manejos e de análise de predição da produção. Entretanto, para sistemas integrados, onde há o maior espaçamento e incremento diamétrico das árvores, os estudos ainda são incipientes. Conhecer a dinâmica da distribuição diamétrica em diferentes técnicas de manejo é fundamental para subsidiar estudos econômicos e técnicos. O presente estudo, portanto, teve o objetivo de realizar a modelagem de distribuição diamétrica de um povoamento de *Eucalyptus spp.* em ILPF utilizando a função Weibull com diferentes métodos e diferentes amplitudes de classe.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de integração lavoura-pecuária-floresta foi instalado na fazenda Trijunção em Jaborandi, na Bahia, em dezembro de 2018. Nessa região predominam os solos arenosos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico. O clima apresenta precipitação média anual de 1.800 mm e temperatura média anual de 25°C. A estação chuvosa é definida entre os meses de outubro e abril, enquanto a estação seca vai de maio a setembro (Santos et. al., 2022).

A área de estudo possui 15 ha e nela foram plantados os clones AEC 144 e AEC 2084 de forma alternada, num espaçamento de 25m entre renques e 2m entre plantas na linha, sendo um total de 15 renques de 400 m cada. Cada linha continha 200 árvores, totalizando

inicialmente 3.000 árvores. Houve falha de plantio de 20%, restando então 2400 árvores no total da área, equivalente a 160 árvores por hectare. Cada linha de árvores foi considerada como uma parcela, totalizando então 15 parcelas. Nas safras de 2018 a 2023, entre os renques, foram cultivadas as culturas do girassol, feijão caupi, sorgo forrageiro (Volumax e SS 318), soja, milho e braquiária em consórcio alternados ao longo das safras.

Os dados utilizados para este estudo foram obtidos a partir de 2018 por meio de 5 medições sucessivas (inventário florestal do tipo censo), aos 21, 31, 39, 49 e 61 meses. Em todas as árvores foi mensurada a circunferência à 1,30m do solo (CAP) com fita dendrométrica, e em 10% das árvores foi mensurada a altura de forma sistematizada com o aparelho clinômetro Hagloff. As árvores mortas provenientes da falha de plantio não entraram na modelagem de distribuição diamétrica e nas árvores com bifurcações abaixo de 1,30m foi considerado o maior fuste para as análises. As alturas não mensuradas (90%) foram estimadas pela seguinte equação hipsométrica, desenvolvida para a área de estudo:

(equação 1):
$$\text{LnH} = 3,1554 - 5,9551 * 1 / \text{DAP} \quad R^2 = 0,53$$

O volume de cada árvore foi estimado pela equação seguinte e utilizada para realizar a análise de Médias das Diferenças (MD) entre os volumes estimados e observados.

(equação 2):
$$V = \pi * \text{DAP}^2 / 40000 * H * 0,47$$

Os dados foram organizados e analisados no software Excel e Weibull Trunc. No software Weibull Trunc, a função densidade de probabilidade foi ajustada por parcela e por idade, pelos seguintes métodos: Máxima Verossimilhança de 2 parâmetros, Máxima Verossimilhança de 3 parâmetros, Máxima Verossimilhança Truncada e Aproximação Linear. Cada ajuste foi testado com cada uma das cinco amplitudes de classe de diâmetro: 1; 2; 3; 4 e 5 cm. O método de Máxima Verossimilhança de 3 parâmetros da função Weibull é dada pela seguinte equação:

$$f(X) = \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{(x - \alpha)}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{(x - \alpha)}{\beta} \right)^{\gamma}} \right\}$$

em que:

α = parâmetro de locação

β = parâmetro de escala ($\beta > 0$)

γ = parâmetro de forma ($\gamma > 0$)

x = centro de classe de diâmetro ($x > 0$).

Os demais métodos são derivações desta equação. O modelo de 2 parâmetros anula o parâmetro de locação (α) proporcionando estimativas que melhor representam a distribuição dos dados e considerando-o como sendo o diâmetro mínimo da distribuição diamétrica, por se tratar de um parâmetro de locação. A máxima verossimilhança truncada é utilizada quando os dados das distribuições diamétricas são truncados, ou seja, possuem início (diâmetro mínimo) e fim (diâmetro máximo) determinados pelos respectivos diâmetros mínimos e máximos observados. Os ajustes não lineares da função Weibull pelo método da verossimilhança tem proporcionando estimativas mais precisas dos parâmetros da distribuição Weibull (Campos e Leite, 2017). Já na aproximação linear os dados são transformados para que a função cumulativa de Weibull seja linearizada, frequentemente utilizando logaritmos. Este método é intuitivo e de fácil aplicação, mas menos rigoroso que a máxima verossimilhança (Colosimo et. al., 2006).

Para selecionar o melhor método e amplitude para a prognose foi observada a quantidade de classes diamétricas resultantes, o percentual de diferenças não significativas entre os dados observados e estimados de acordo com o teste de aderência das funções aos dados, Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância. Ademais, foram comparadas as somas de quadrados dos resíduos (SQR) e a correlação dos parâmetros das funções ajustadas com os atributos do povoamento.

Após selecionar o melhor método de ajuste para as diferentes amplitudes de classe, desenvolveu-se um modelo de projeção (I1-I2) de distribuição diamétrica, buscando correlacionar os parâmetros da função Weibull às variáveis de povoamento conforme o sistema de equações a seguir:

$$q_2 = c_0 + c_1 * q_1 + c_2 * I_2 + \varepsilon$$

$$d_{mín2} = c_1 * d_{mín1} \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + c_2 * q_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \varepsilon$$

$$\beta_2 = c_0 + c_1 * \beta_1 + c_2 * I_2 + c_3 * d_{mín2} + \varepsilon$$

$$\gamma_2 = c_0 + c_1 * \gamma_1 + c_2 * I_2 + c_3 * d_{mín2} + \varepsilon$$

$$N_2 = N_1$$

em que: I_1 e I_2 são as idades inicial e final, respectivamente; $dmín1$ e $dmín2$ são os diâmetros mínimos observados por parcela, nas idades inicial e final; q_1 e q_2 são os diâmetros quadráticos observados por parcela, nas idades inicial e final; N_1 e N_2 são as frequências totais observadas por parcela, nas idades inicial e final; γ_1 , β_1 , γ_2 e β_2 são os parâmetros da função Weibull, nas idades inicial e final; c_0 a c_3 são os parâmetros a serem estimados e ε é o erro aleatório.

Após ajuste e seleção do conjunto de equações para a projeção da distribuição diamétrica, utilizamos a distribuição observada aos 21 meses para realizar a prognose distribuição para as idades de 31, 39, 49, e 61 meses, sucessivamente, utilizando a prognose anterior como referência para a projeção seguinte, por meio dos 4 métodos com cada amplitude de classe, para cada parcela. Em seguida os resultados foram comparados às distribuições observadas nas respectivas idades.

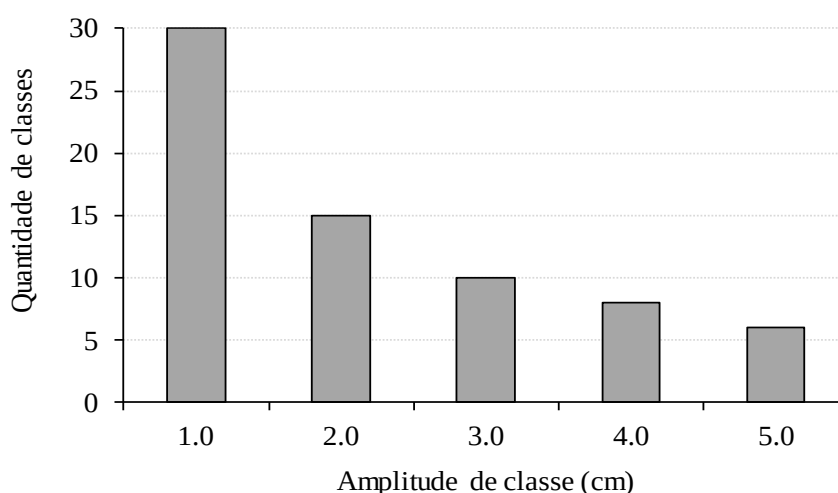
Após a prognose da produção, foram comparados os volumes observados e estimados em todas as classes e amplitudes diamétricas. Para isso, foram calculadas as diferenças entre os valores estimados pela função Weibull e os valores reais obtidos no inventário florestal. As estimativas foram geradas a partir dos dados observados aos 21 meses e projetadas para as idades futuras. Posteriormente, os volumes estimados foram comparados aos volumes reais medidos nas respectivas idades. A análise foi feita calculando-se a média das diferenças entre os volumes observados e estimados para cada classe diamétrica e amplitude testada. Esse procedimento permitiu avaliar a tendência dos erros e a qualidade da projeção do modelo ao longo do tempo.

Com isso, foi calculado o Quadrado Médio dos Resíduos (QMR) para cada amplitude de classe para avaliar a qualidade dos ajustes da função Weibull em diferentes amplitudes de classe. Essa métrica quantifica a discrepância entre os valores observados e os estimados, permitindo a comparação da precisão dos modelos ajustados para cada amplitude testada. O resultado da soma do quadrado dos resíduos foi dividida pelo grau de liberdade chegando ao QMR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de classes variou de acordo com cada amplitude testada (Figura 1). Isto implica que a escolha da amplitude de classe afeta diretamente a distribuição diamétrica. Quando a amplitude de classe aumenta, o número total de classes diminui, o que pode impactar na precisão e interpretação da distribuição dos diâmetros. Com amplitudes maiores, há uma suavização da distribuição, podendo ocultar padrões importantes. Já amplitudes menores permitem uma visão mais detalhada da distribuição diamétrica ao longo do tempo, no entanto, deve haver um equilíbrio pois se em excesso podem gerar maior variação entre medições.

Figura 1: Quantidade de classes existentes para cada amplitude de classe.

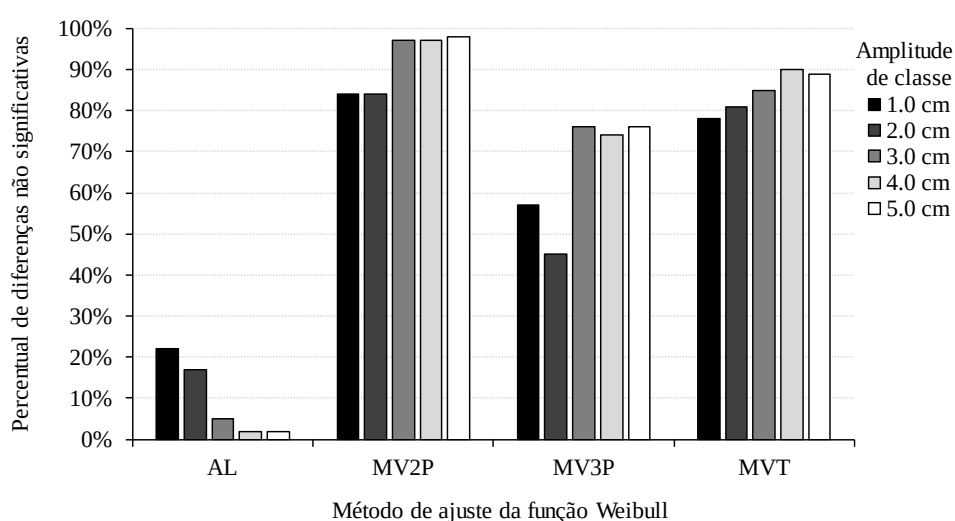


O método de Aproximação Linear foi o que apresentou maior diferença significativa entre a distribuição diamétrica observada e a estimada, independente da amplitude de classe, tornando-o, portanto, inviável para a modelagem de distribuição diamétrica (Figura 2). Por outro lado, o método de Máxima Verossimilhança de 2 Parâmetros foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando percentuais de diferenças não significativas até maiores que 95%. Este resultado ratifica que para modelagem de distribuição diamétrica o método da máxima verossimilhança de 2 parâmetros é comumente o mais usado, conforme afirma Binoti et. al. (2015) e os estudos de Binoti et al. (2014). Portanto, este foi o método selecionado para as demais análises deste estudo.

Observa-se que os maiores percentuais de diferenças não significativas são do MV2P nas amplitudes de 5cm seguidas das de 4 e 3 cm. Portanto, fazer uma conclusão considerando este resultado (Figura 2) isoladamente pode ser limitante pois as amplitudes de classe que tiveram os melhores resultados nesse teste (4 cm e 5 cm) também apresentaram pouca quantidade

de classes em outras análises. Isso significa que houve uma suavização excessiva da distribuição, reduzindo a capacidade de captar detalhes importantes da estrutura diamétrica. A escolha da melhor metodologia deve considerar o conjunto dos resultados, garantindo que o modelo seja estatisticamente confiável para a gestão do povoamento.

Figura 2: Percentual de diferenças não significativas pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância para os diferentes métodos de ajuste da função Weibull e amplitudes de classes.



A título de ilustração da dinâmica da distribuição diamétrica ao longo do tempo de acordo com cada amplitude de classe, são apresentados na Figura 3 os resultados da parcela 10. Foi observado na floresta que as árvores cresceram ao longo do tempo e a curva de distribuição diamétrica gerada pela função Weibull foi capaz de captar essa mudança através do deslocamento da curva para a direita, atingindo maiores classes de diâmetros ao longo do tempo.

Como observado na Figura 1 e confirmado pela Figura 3, ao aumentar a amplitude de classe o número de classes da distribuição diminui, tanto nos dados observados quanto nos estimados, o que impacta tanto a interpretação dos dados observados quanto a precisão das estimativas. O ajuste pode se tornar menos preciso com classes muito amplas, pois há uma perda de pontos de referência para descrever a forma da distribuição. Este resultado mostra que a função Weibull se ajustou adequadamente aos dados apesar da variação do número de classes.

Diante disto, é possível confirmar que a função Weibull possui flexibilidade para descrever tendências conforme afirmado por Binoti et. al (2011) e Araújo Júnior (2012), e por esse

motivo é comumente utilizada para modelagem de distribuição diamétrica. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi não significativo, demonstrando que os ajustes tiveram aderência aos dados.

Araújo Júnior et al. (2010) afirmaram que a amplitude ideal no estudo que fizeram foi de 1 e 2 cm para um plantio convencional de eucalipto, devido às diferenças não significativas entre os valores das estatísticas. Costa et al. (2019) e Binoti et. al. (2015) também utilizaram a amplitude de 2cm e 1cm, respectivamente, para projeção de distribuição diamétrica de povoamento comercial de eucalipto.

Nos plantios não convencionais, como os sistemas de ILPF, o espaçamento entre árvores é maior, o que favorece o crescimento de diâmetros maiores em relação aos plantios convencionais. Neste estudo, as árvores de eucalipto possuem 5 anos, mas na idade de corte, estimada em aproximadamente 14 anos, os diâmetros serão consideravelmente maiores, o que também indica que a amplitude ideal para modelagem da distribuição diamétrica deverá ser alterada. Nesse contexto, a amplitude ideal para sistemas ILPF provavelmente será maior de forma a proporcionar maior precisão quanto à variabilidade e a estrutura diamétrica que se desenvolve ao longo do tempo.

Os coeficientes do modelo de distribuição diamétrica (Tabela 1) foram ajustados com base nos resultados da função de densidade de probabilidade e estão apresentados na Figura 3. As variáveis diâmetro mínimo ($d_{\min}$) e diâmetro quadrático (q) foram selecionadas como variáveis independentes nesses modelos por terem sido as variáveis de povoamento com maiores correlações com os parâmetros Beta (β) e Gama (γ), bem como a variável Idade. Scolforo et. al. (1999) e Soares et. al. (2002) também escolheram essas variáveis para estimativa dos parâmetros da função Weibull nos seus estudos de prognose da produção florestal. Araújo Júnior (2010) também utilizou o diâmetro mínimo no seu modelo de distribuição diamétrica.

Destaca-se que o diâmetro quadrático e o diâmetro mínimo não variam de acordo com a amplitude de classe utilizada pois são características próprias dos dados do povoamento. Por isso, não há um ajuste específico para cada opção de amplitude de classe (Tabela 1).

Figura 3: Distribuição diamétrica observada (barras) e estimada (linhas) para a parcela 10, em cada idade, e para cada amplitude de classe considerada (1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 cm). O alinhamento vertical representa as idades, e o alinhamento horizontal as amplitudes de classe consideradas.

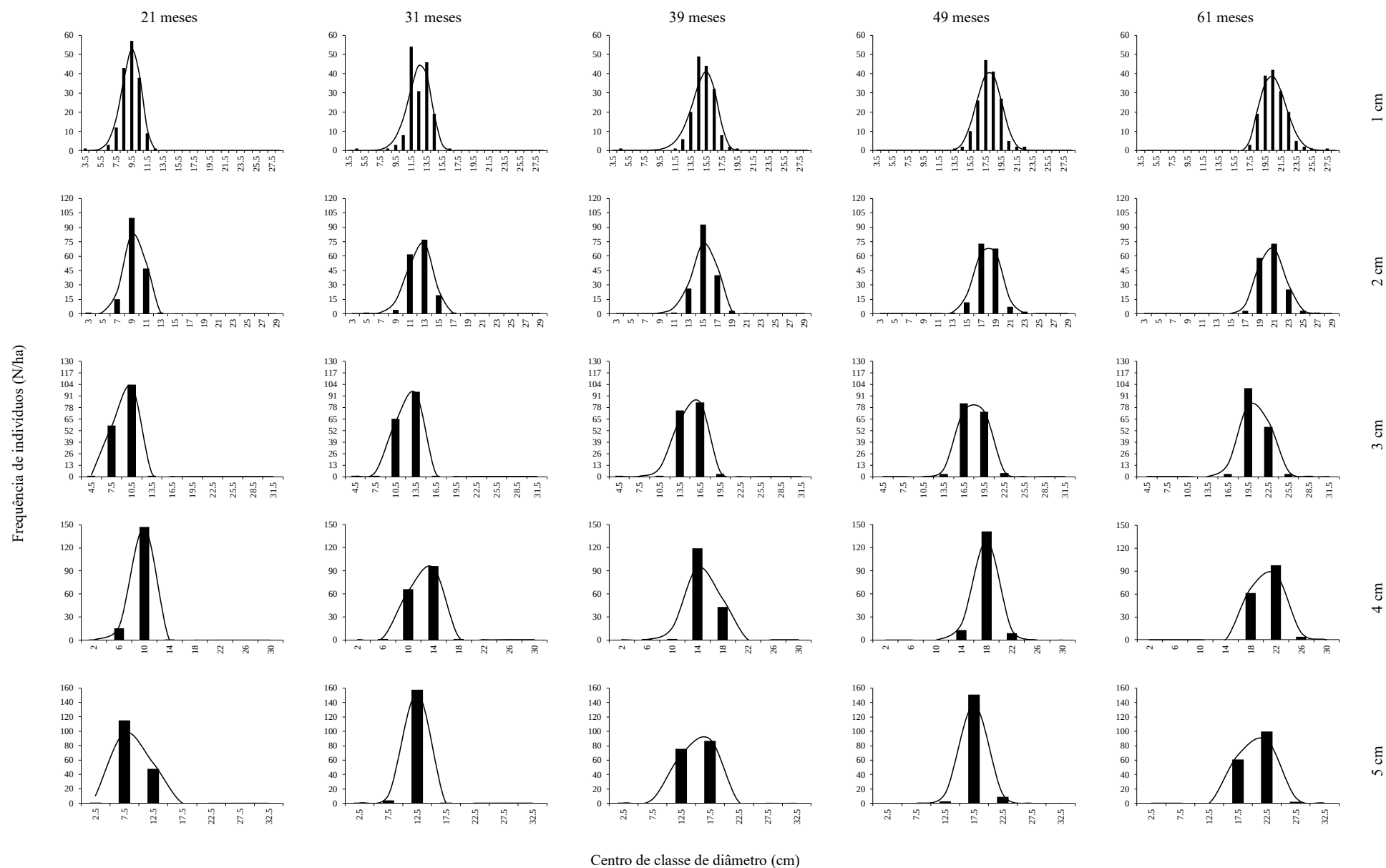
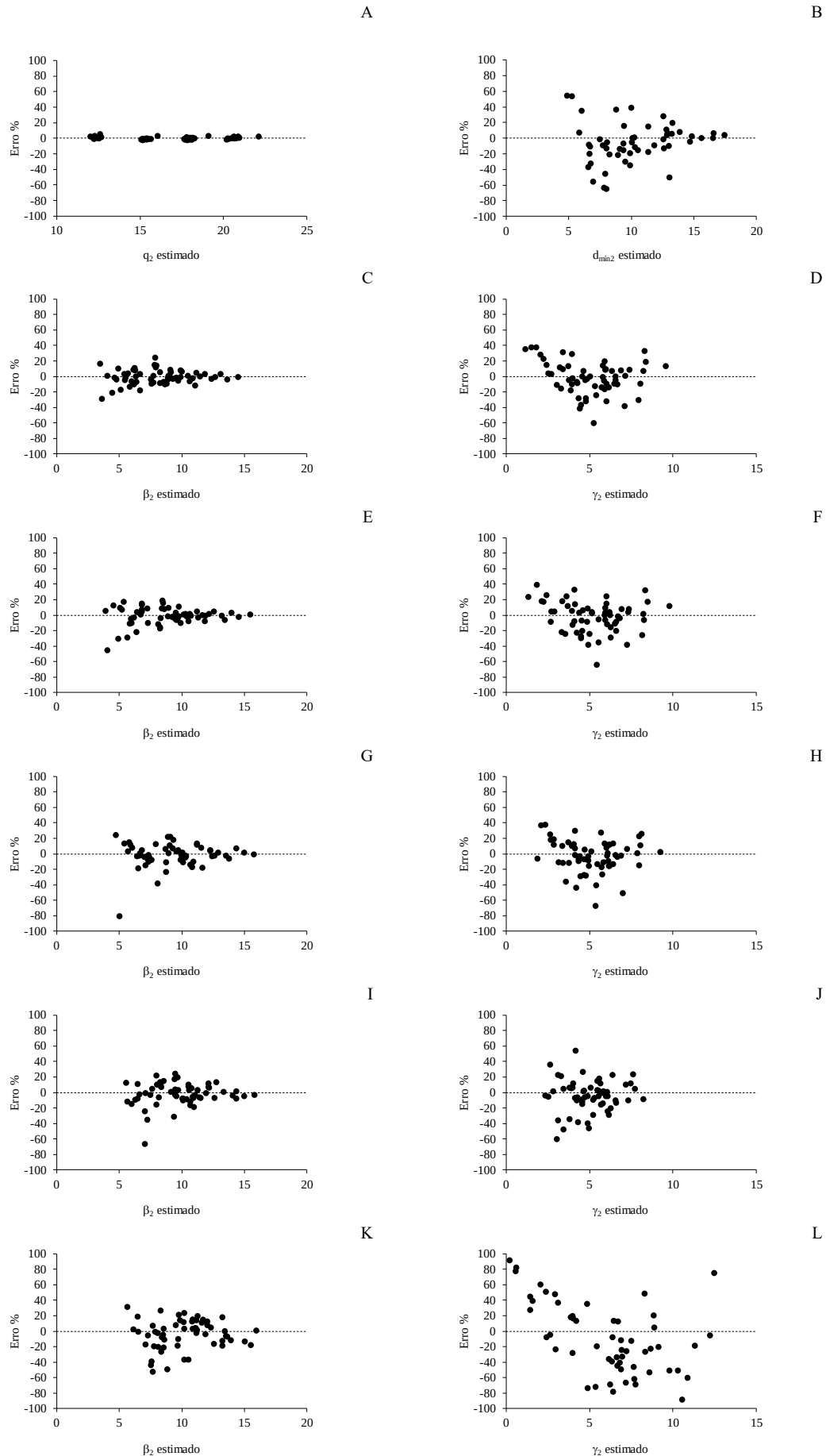


Tabela 1: Parâmetros estimados para o modelo de distribuição diamétrica, em cada amplitude de classe diamétrica (c_i) considerada, com os respectivos coeficientes de correlação (r) e erro padrão (s_y).

Variável	Amplitude de classe	c_0	c_1	c_2	c_3	r	s_y
q_2	-	3.55001	0.84695	0.03196	-	0.99698	0.24746
$d_{\min 2}$	-	-	0.99808	1.35066	-	0.97743	2.36170
β_2	1 cm	4.94565	0.04436	0.27499	-1.01450	0.96961	0.67384
	2 cm	5.30034	0.03751	0.29193	-1.06436	0.96646	0.74133
	3 cm	5.68334	0.02648	0.28948	-1.02487	0.92829	1.06676
	4 cm	7.57526	-0.01219	0.24990	-0.94772	0.90334	1.18454
	5 cm	6.18305	0.09402	0.26807	-0.95154	0.82644	1.69432
γ_2	1 cm	4.59704	0.16800	0.11926	-0.62063	0.87737	1.05402
	2 cm	4.60523	0.16647	0.12168	-0.61662	0.87271	1.05609
	3 cm	4.72928	0.11786	0.11320	-0.56598	0.85923	1.01620
	4 cm	4.80381	0.06032	0.09601	-0.47507	0.79485	1.07974
	5 cm	10.39663	-0.13927	0.10297	-0.87384	0.49912	5.61900

Os resíduos (erros) obtidos nos ajustes de cada equação estão apresentados na Figura 4, para cada amplitude de classe. É possível observar que as estimativas de β_2 não foram tendenciosas, independente da amplitude de classe. No entanto, para as amplitudes de 4 e 5 cm houve maior dispersão dos resíduos, principalmente para o parâmetro γ_2 , indicando menor precisão das estimativas. Este resultado está correlacionado com o número de classes resultantes para cada amplitude de classe, pois quando há poucas classes a estimativa torna-se comprometida.

Figura 4: Valores estimados dos parâmetros do sistema de distribuição diamétrica para as variáveis q e $d_{\min}$ (A, B) e β e γ da função Weibull para as amplitudes de classe 1,0 (C, D), 2,0 (E, F), 3,0 (G, H) 4,0 (I, J) e 5,0 (K, L) cm. Erro% = 100 (observado - estimado) / observado.



Na Tabela 2 estão apresentadas as Médias das Diferenças (MD) entre os volumes observados e estimados em todas as classes e amplitudes diamétricas, após a prognose da produção. As estimativas foram feitas com base nos dados observados de 21 meses e comparadas com os dados reais de cada idade. Apesar das diferenças, estas seguiram uma tendência aceitável para a prognose.

Observou-se que amplitudes de classe maiores resultaram em perdas de informações na distribuição diamétrica, levando a inconsistências na projeção. Assim, a amplitude de classe influencia diretamente a precisão das estimativas de volume e da frequência de árvores por classe.

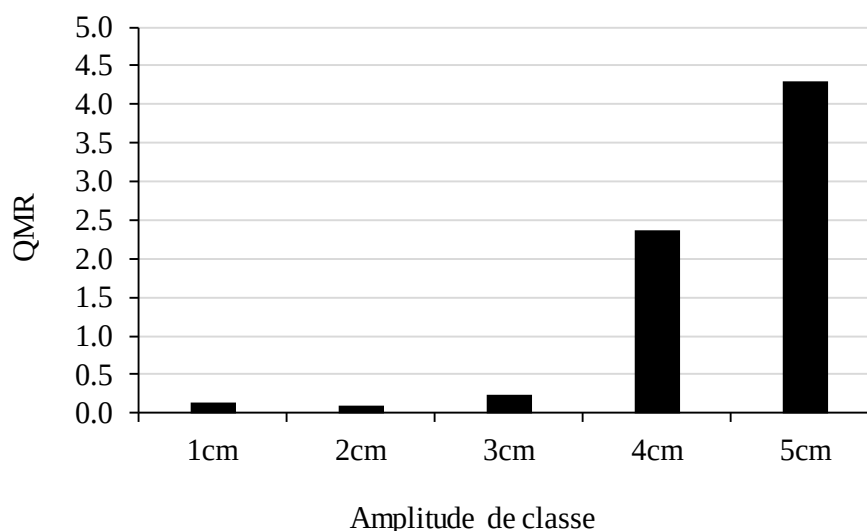
Tabela 2: Média das diferenças (MD) entre os valores de volume (m^3) observado e estimado a partir das distribuições prognosticadas a partir dos 21 meses pelo modelo de distribuição diamétrica para cada idade futura (em meses).

Amplitude	Centro de Classe	21-31	31-39	39-49	49-61
1cm	6.5	0.0069	0.0020	0.0000	0.0000
1cm	7.5	0.0231	0.0104	0.0015	0.0000
1cm	8.5	0.0462	0.0294	0.0042	0.0000
1cm	9.5	-0.0424	0.0198	0.0396	0.0000
1cm	10.5	-0.1251	0.0536	0.0256	0.0000
1cm	11.5	0.7796	-0.0319	0.0369	0.0092
1cm	12.5	0.9868	-0.3033	0.0569	0.0000
1cm	13.5	-0.8120	-0.4769	0.0363	0.0618
1cm	14.5	-0.8505	1.7915	-0.2275	0.0572
1cm	15.5	-0.6416	1.4201	-0.3846	-0.0930
1cm	16.5	-0.0425	-1.0829	1.0138	-0.8955
1cm	17.5	0.0421	-1.3025	2.0636	-1.9929
1cm	18.5	0.0580	-0.3147	0.7092	-0.7987
1cm	19.5	0.0000	0.0277	-1.1934	2.5331
1cm	20.5	0.0000	0.0741	-1.9612	3.1056
1cm	21.5	0.0000	0.0609	-0.7102	2.3254
1cm	22.5	0.0000	0.0455	-0.1458	-0.3513
1cm	23.5	0.0251	0.0000	0.0789	-1.2507
1cm	24.5	0.0000	0.0000	0.0334	-0.5564
1cm	25.5	0.0000	0.0000	0.0885	-0.3865
1cm	26.5	0.0000	0.0000	0.0328	0.1937
1cm	27.5	0.0000	0.0000	0.0714	0.0871
1cm	28.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.1602
1cm	29.5	0.0000	0.0000	0.0000	0.1182
2cm	5	0.0049	0.0009	0.0009	0.0000
2cm	7	0.0194	0.0110	0.0012	0.0000
2cm	9	-0.2236	0.0514	0.0392	0.0000
2cm	11	-0.2580	0.0863	0.0619	0.0083
2cm	13	1.0509	-0.0190	-0.1272	0.0564
2cm	15	0.0799	4.4237	-1.6204	-0.4455
2cm	17	0.1100	-4.2871	2.6627	-3.8962
2cm	19	0.0618	-1.8589	1.1886	1.1019
2cm	21	0.0000	0.0515	-1.4133	6.4857
2cm	23	0.0239	0.0477	0.1717	0.1279
2cm	25	0.0000	0.0000	0.1294	0.0687

Amplitude	Centro de Classe	21-31	31-39	39-49	49-61
2cm	27	0.0000	0.0000	0.1027	0.5457
2cm	29	0.0000	0.0000	0.0000	0.3073
3cm	4.5	0.0038	0.0006	0.0006	0.0000
3cm	7.5	0.0331	0.0343	0.0045	0.0000
3cm	10.5	0.2579	-0.0745	0.1063	0.0073
3cm	13.5	0.5195	0.8957	-0.3114	0.1099
3cm	16.5	-1.3354	0.0364	3.5332	-0.5784
3cm	19.5	0.0635	-1.1333	-2.2600	9.6006
3cm	22.5	0.0228	0.1074	-2.3047	-5.0771
3cm	25.5	0.0000	0.0000	0.1048	-7.4607
3cm	28.5	0.0000	0.0000	0.0772	-0.3944
4cm	6	-0.0289	0.0086	0.0023	0.0000
4cm	10	-1.3664	-0.2395	0.1001	0.0065
4cm	14	3.8389	2.4691	0.1461	0.1801
4cm	18	0.1563	-2.6619	6.8045	8.7640
4cm	22	0.0216	0.0729	-10.3054	1.6367
4cm	26	0.0000	0.0000	-0.0976	-20.4853
4cm	30	0.0000	0.0000	0.0000	-1.0375
5cm	2.5	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000
5cm	7.5	0.0537	0.0462	0.0283	0.0000
5cm	12.5	0.1546	4.5772	-1.7304	0.1023
5cm	17.5	-0.0415	-8.3717	4.7494	3.9871
5cm	22.5	0.0228	-2.4453	-0.4442	3.7174
5cm	27.5	0.0000	0.0000	0.2108	-13.9679

Observando o Quadrado Médio dos Resíduos (SQR) considerando o número de classes em cada amplitude, (Figura 5) é possível observar que com as maiores amplitudes (4 e 5) apresentam maior erro levando a uma imprecisão na prognose. As melhores amplitudes de classe, como observado anteriormente, são a de 1, 2 e 3cm pois apresentam menos erros e maior precisão. Portanto, até os 61 meses de idade do povoamento de *Eucalyptus* em ILPF recomenda-se o uso da amplitude de 1, 2 ou 3 cm para a prognose. A expectativa é que na idade de corte, entre 12 e 15 anos, as amplitudes ideais sejam iguais ou superiores a esta.

Figura 5: Quadrado Médio dos Resíduos (QMR) para cada amplitude de classe.



4 CONCLUSÕES

A função de densidade de probabilidade Weibull foi considerada adequada para descrever a distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos de eucalipto em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, em diferentes idades, independente da amplitude de classe. O método da Máxima Verossimilhança de 2 Parâmetros foi o mais adequado. A amplitude de classe interferiu na precisão da prognose da distribuição diamétrica, e neste estudo a amplitude ideal foi a de 1, 2 e 3cm.

5 REFERÊNCIAS

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 Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.11, p.1275-1281, nov. 2010.

ARAÚJO JÚNIOR, C. A. LEITE, H. G. BINOTI, D. H. B. CASTRO, R. V. O. BINOTI, M. L. M. S. MARCATTI, G. E. **Uso da função Weibull para descrever a área basal por classe de diâmetro de um povoamento de eucalipto.** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 401-406, set. 2012.

ARAÚJO JÚNIOR, C. A. LEITE, G. G. CASTRO, R. V. O. BINOTI, D. H. B. AL-CÂNTARA, A. E. M. BINOTI, M. L. M. S. **Modelagem da distribuição diamétrica de povoamentos de eucalipto utilizando a função gama.** *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 2, p. 307-314, abr./jun. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cerne/a/mqN5sTXSV9nVfjbcFRcfnQm/?format=pdf&lang=pt>>

AZEVEDO, G. B. OLIVEIRA, E. K. B. AZEVEDO, G. T. O. D. 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*. v44, nº110. Piracicaba, 2016. DOI: 10.18671/scifor.v44n110.11.

BALBINO, L. C. CORDEIRO, L. A. M. MARTINEZ, G. B. **Contribuições dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) para uma agricultura de baixa emissão de carbono.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 4, n. 6, p. 1163-1175, 2011.

BARBOSA, N. BRUN, J. E. **Produtividade em madeira de três diferentes materiais genéticos de eucalyptus spp. na região sudoeste do paraná.** 9º Congresso Florestal Brasileiro, 2022. 486–488. <https://doi.org/10.55592/CFB.2022.9924751>. Disponível em: <<https://publicacoes.softaliza.com.br/congressoflorestalbrasileiro/article/view/2525>>

BINOTI, D. H. B. LEITE, H. G. GUIMARÃES, D. P. SILVA, M. L. M. GARCIA, S. L. R. FARDIN, L. P. **Eficiência das funções weibull e hiperbólica para descrição de distribuições diamétricas de povoamentos de tectona grandis** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.299-306, 2011.

BINOTI, M. L. M. S. BINOTI, D. H. B. LEITE, H. G. SILVA, A. A. L. PONTES, C. **Utilização de redes neurais artificiais para a projeção da distribuição diamétrica de povoamento equiâneos.** Revista Árvore, v. 38, n. 4, p. 747–754, jul. 2014.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. DA 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, jul. 2015.

CAMPOS, J. C. C. LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** Viçosa: Editora UFV, 2013.

COLOSIMO, E. A. GIOLO, S. R. **Análise de Sobrevivência Aplicada.** São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

COSTA, L. S. CASTRO, R.V. O. CASTRO, A. F. N. M. MURTA JÚNIOR, L. S. **Projeção de distribuição diamétrica de povoamento comercial de eucalipto utilizando área basal.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 47, n. 122, p. 265-272, jun. 2019 DOI: doi.org/10.18671/scifor.v47n122.09.

EISFELD, R. L. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística e processo de difusão.** Dissertação de Pós Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

MACHADO, S. A. FIGUEIREDO FILHO, A. **Manejo florestal: análise de crescimento e produção florestal.** Curitiba: Editora UFPR, 2003.

MICHALICHEN, G. CAMPOS, C. B. SILVA, C. PAULA, G. S. GRISANG, M. R. GUIMARÃES, K. S. BARBOSA, N. Z. BRUN, E. J. **Produtividade em madeira de três diferentes materiais genéticos de eucalyptus spp. na região sudoeste do paraná.** 9º Congresso Florestal Brasileiro, Brasília, DF. 2022, 486–488. DOI:

10.55592/CFB.2022.9924751.

Disponível

em:

<<https://publicacoes.softaliza.com.br/congressoflorestalbrasileiro/article/view/2525>>.

ORELLANA, E. FIGUEIREDO FILHO, A. **Uso do método da predição de parâmetros para projetar a distribuição diamétrica em florestas nativas com a função Weibull.** *Ciência Florestal*, v. 27, n. 3, p. 981–991, jul. 2017.

ORELLANA, E. FIGUEIREDO, A. PÉLLICO, S. DIAS, A. N. **Métodos de ajuste e procedimentos de seleção de funções probabilísticas para modelar a distribuição diamétrica em floresta nativa de araucária.** *Ciência Florestal*, 27(3), 969–980, 2017. DOI: 10.5902/1980509828668

SANTOS, F. C. SILVEIRA, M. C. T. VILELA, L. ALMEIDA, R. G. CASTRO, R. V. O. ALBUQUERQUE FILHO, M. R. PAIVA, C. A. O. PULRONIK, K. FIGUEIREDO, A. B. A. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta como alternativa de intensificação sustentável para solos arenosos do Oeste da Bahia.** Documentos 271. Sete Lagoas, MG. Embrapa Milho e Sorgo, 2022. ISSN 1518-4277.

SCOLFORO, J. R. S. OLIVEIRA, A. D. **Modelos de crescimento e produção para *Eucalyptus grandis* nas regiões sul e sudoeste do estado de São Paulo.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, pág. 219-226, 1999.

SEREGHETTI, G. C. LANÇAS, K. P. SARTORI, M. S. REZENDE, M. A. SOLER, R. R. **Efeito do espaçamento no crescimento e na densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em florestas de ciclo curto.** *Energia na agricultura*, 2015. 30(3), 257–262. Disponível em: <<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p257-262>>.

SOARES, C. P. B. LEITE, H. G. **Distribuição diamétrica de povoamentos equidistantes utilizando distribuições probabilísticas.** *Revista Árvore*, v. 2, pág. 163-170, 2002.

WENDLING, W. T. EMERENCIANO, D. B. HOSOKAWA, B. T. **Ajuste da função de distribuição diamétrica weibull por planilha eletrônica.** *Floresta*, Curitiba, PR, v. 41, n. 2, p. 205-220, 2011.



Universidade Federal
de São João del-Rei

6 ANEXO A

Termo de autorização para publicação no Repositório Institucional da UFSJ

Eu, Daniela de Azevedo Ladeira, RG 19543101, Org. Exp. PC MG, CPF 01954079621, e-mail: daniela.a.ladeira@gmail.com, telefone (31) 9.9553-3103, na qualidade de titular dos direitos de autor que recaem sobre minha produção:

(X) trabalho de conclusão de curso () dissertação de mestrado () tese de doutorado
() _____ (outro)

Título: Modelagem de distribuição diamétrica de *Eucalyptus spp.* em sistema de Integração Lavoura - Pecuária – Floresta, defendida em: 26/02/2025, no programa de

(X)Graduação () Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL, com fundamento nas disposições sobre direitos autorais (Lei nº 9.610 de 19 de fevereiro de 1998), autorizo a Universidade Federal de São João del-Rei a disponibilizar gratuitamente a obra citada, sem ressarcimento de direitos autorais, para fins de leitura e impressão, a título de divulgação da produção científica gerada pela universidade, a partir desta data. Autorizo a liberação:

(x) Total

() Parcial (serão disponibilizados apenas resumo, palavras-chave, e os dados: autor, título, membros da banca examinadora, data de defesa, entre outros).

Motivo: _____.

Obs.:

- No caso de liberação parcial, a dissertação/tese impressa não poderá ser consultada no acervo.
- Estou ciente que, em caso de liberação parcial, o documento será mantido nesta opção durante 1 (um) ano a partir da data de autorização da publicação. Para ampliação deste prazo, devo manifestar-me junto a Dibib/UFSJ. Para liberação antes do prazo estipulado, formalizarei a autorização. Se não houver manifestação, o texto completo da dissertação/tese será liberado em sua totalidade e a versão impressa será disponibilizada para consulta.
- O conteúdo disponibilizado é de minha inteira responsabilidade.

Sete Lagoas, MG, 26 de fevereiro de 2025.

Assinatura do Autor