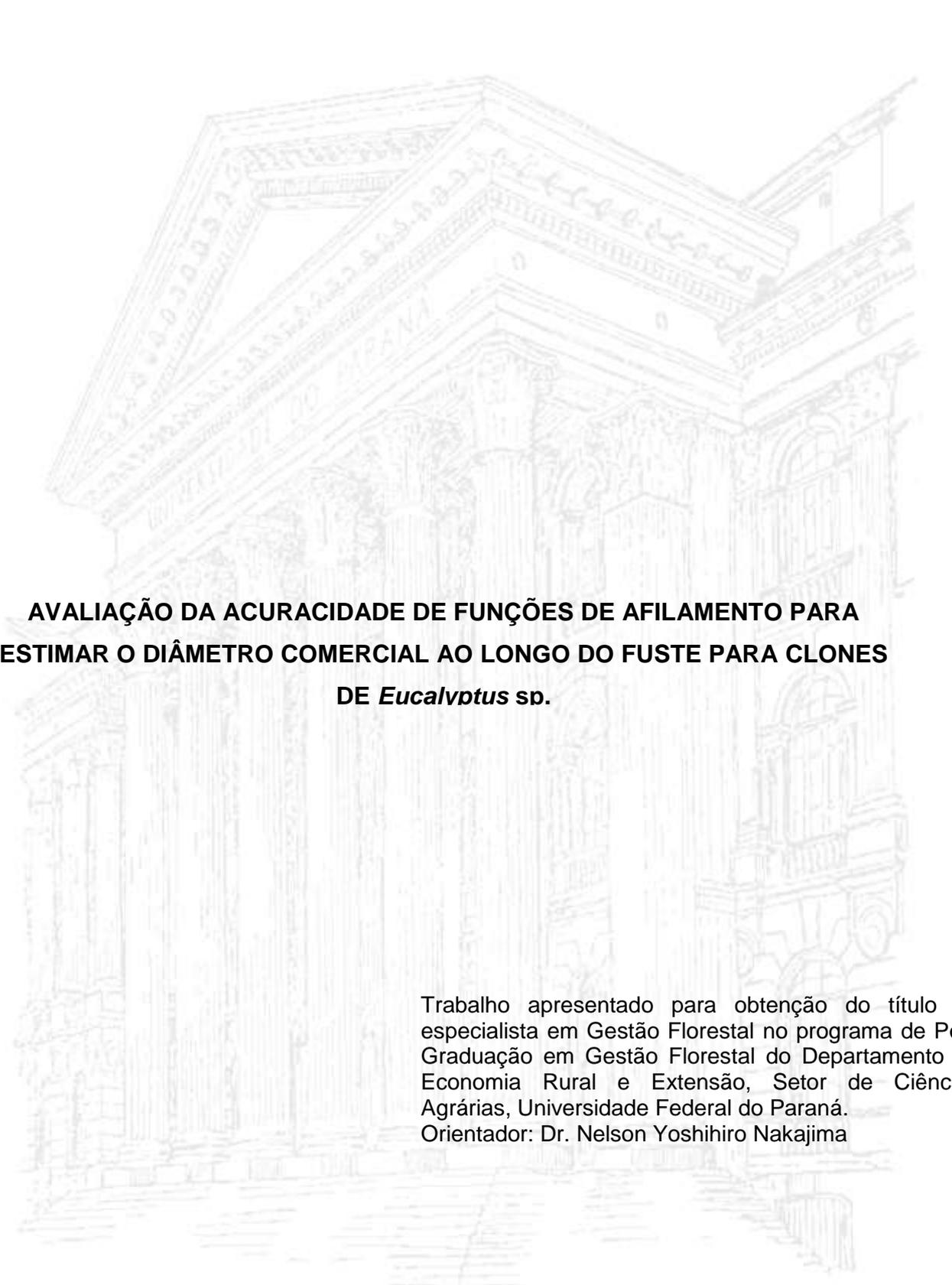


LEONARDO PEREIRA FARDIN

AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA ESTIMAR O DIÂMETRO COMERCIAL AO LONGO DO FUSTE PARA CLONES DE *Eucalyptus* sp.

CURITIBA – 2013

LEONARDO PEREIRA FARDIN



**AVALIAÇÃO DA ACURACIDADE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO PARA
ESTIMAR O DIÂMETRO COMERCIAL AO LONGO DO FUSTE PARA CLONES
DE *Eucalyptus* sp.**

Trabalho apresentado para obtenção do título de especialista em Gestão Florestal no programa de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

CURITIBA - 2013

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima pela orientação trabalho, e ajuda no desenvolvimento como um todo.

A Equipe de tutoria acadêmica, pelo apoio e ajuda nas duvidas em especial a Fabi.

Ao professor Dr. Hélio Garcia Leite, pela constante orientação, e como exemplo de pessoa.

Ao meu pai Francisco de Assis Fardin, pelos ensinamentos e apoio durante toda vida.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar e comparar a acuracidade de funções de afilamento para estimar o diâmetro comercial (d) ao longo do fuste de clones de *Eucalyptus* sp. localizado ao sul do estado da Bahia. A base de dados foi composta por 505 árvores cubadas pelo método de Smalian com as idades dos plantios variando de 4 a 6 anos. Foram testados os seguintes modelos: Schöepfer (1966), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Garay (1979) e avaliados por meio das seguintes estatísticas: desvio padrão das diferenças (SB), bias (B), raiz quadrada do erro médio (RQEM), coeficiente de correlação (R_{yy}). Concluiu-se que o modelo de Garay (1979) foi o melhor modelo para estimar o diâmetro comercial ao longo do fuste para os três clones avaliados neste estudo.

Palavra-chave: afilamento, diâmetro comercial, *Eucalyptus*, acuracidade.

ABSTRACT

Evaluation of accuracy of taper functions to estimate the commercial diameter (d) along the stem of Eucalyptus sp. clones

The objective of this study was to evaluate and compare the accuracy of taper functions for estimating the commercial diameter (d) along the stem of *Eucalyptus* sp. Clones located south of Bahia . The database was composed by 505 trees measured by the Smalian method with plantations ages ranging from 4 to 6 years. The following 4 models were tested: Schöepfer (1966), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), and Garay (1979), which were evaluated through of statistics: standard deviation of the differences (SB), bias (B), root mean square error (RQEM), correlation coefficient (Ryy). It was concluded that the Garay model (1979) was the best for estimating the commercial diameter along the stem for 3 clones in this study.

Keyword: taper, commercial diameter, *Eucalyptus*, accuracy.

Sumário

1- INTRODUÇÃO	6
2- REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 - Considerações sobre a espécie	8
2.2 - Funções de afilamento	9
2.3 - Fatores que afetam a forma da Árvore	11
3 - METODOLOGIA.....	12
3.1 - Descrição da Área.....	12
3.2 - Coleta de Dados	12
3.3 - Modelos Avaliados	16
3.4 - Avaliação Estatística dos Modelos.....	17
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
5 – CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30

1- INTRODUÇÃO

A necessidade em se determinar os diversos usos de uma árvore se torna a cada dia uma realidade mais frequente e necessária.

Entre as florestas plantadas, os povoamentos de eucalipto recebem destaque por ser o gênero *Eucalyptus* o mais plantado e estudado no Brasil. Nele são encontradas algumas espécies destinadas para diferentes finalidades, como fonte de energia para o setor siderúrgico, ou como matéria prima para celulose e papel dentre outros (OLIVEIRA, 2007).

Apesar de grande parte da produção de madeira de *Eucalyptus sp.* ter como destino as indústrias de papel e celulose, e siderurgia existe uma crescente demanda do uso dessa espécie para laminados e compensados.

A partir da década de 80, principalmente no final, as empresas florestais brasileiras passaram a intensificar seus plantios com clones de eucalipto, substituindo em parte, ou totalmente, plantios de semente com o propósito de alcançar maior produtividade e qualidade do produto (OLIVEIRA, 2007).

A precisão da avaliação quantitativa de estoques florestais é de fundamental importância no sentido de direcionar a matéria prima para diferentes usos. A partir de dados provenientes de inventário é possível definir um plano de manejo visando a utilização de multiprodutos da floresta, bem como obter os volumes comerciais e ainda volume de partes específicas do fuste. A estimativa destes volumes é dificultada principalmente pela variação da forma do perfil do fuste (MACHADO et al., 2004).

No caso do sortimento florestal, o objetivo é a árvore, e os itens são as toras que a compõem. As árvores são definidas pelo seu comprimento útil e alguma função que descreva a redução diamétrica da base ao topo (funções de afilamento), enquanto que as toras são definidas pelo seu comprimento, diâmetro mínimo na ponta fina e, eventualmente, diâmetro máximo na ponta grossa (ARCE, 2000).

O emprego destes modelos é uma consequência natural da evolução e importância do setor florestal no Brasil, onde o aprimoramento das técnicas de inventário, associado a necessidade de flexibilização da informação de estoques de madeira, despertaram um maior interesse na depuração das informações de inventário (YOSHITANI JUNIOR, 2009).

Cada vez mais o mercado exige produtos diversificados e de qualidade. Como os produtos florestais não fogem à regra faz-se necessário utilizar técnicas de quantificação

e qualificação desses produtos, entre as quais se tem os modelos de afilamento (taper) que possibilitam a determinação do volume total e comercial da madeira para qualquer diâmetro ou altura especificada (LEITE et al., 2006).

A escolha do modelo de afilamento irá depender das análises estatísticas apresentadas, ou seja, dos ajustes em conjunto com a análise gráfica dos resíduos, sendo estes ajustes influenciados pelo espaçamento, idade, espécie, e do manejador.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a acurácia de funções de afilamento para estimar o diâmetro comercial (d) ao longo do fuste de três clones de *Eucalyptus* no sul da Bahia. Os objetivos específicos foram:

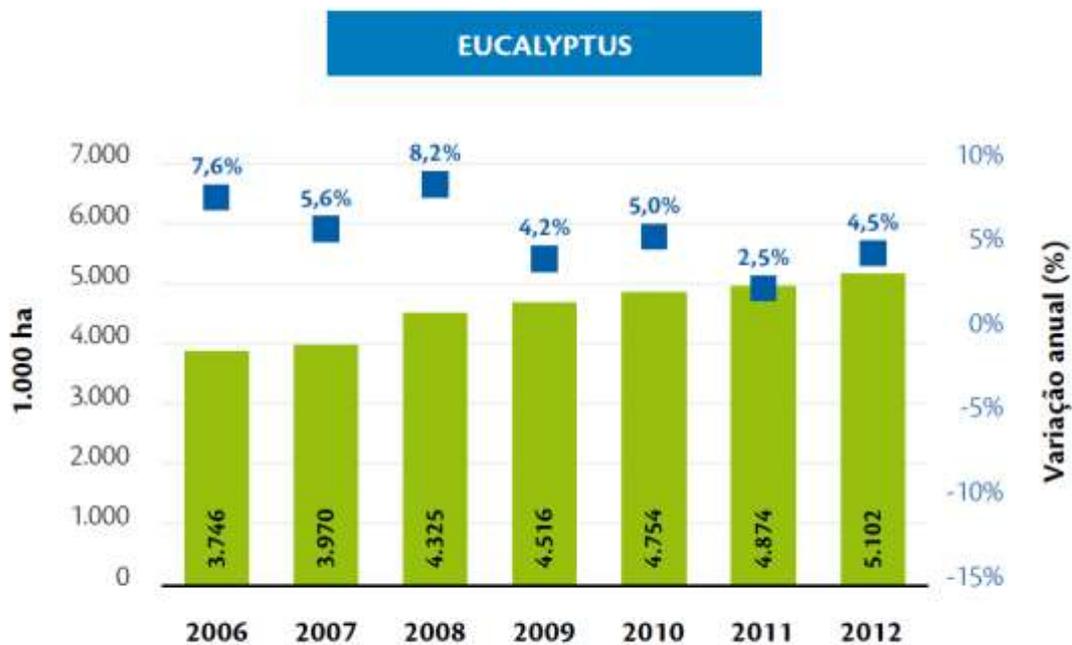
- Ajustar os modelos de: Schöepfer (1966), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) , Garay (1979) , e indicar qual o modelo mais adequado para estimar os diâmetros ao longo do fuste (d).
- Verificar a precisão dos modelos selecionados na estimativa do diâmetro ao longo do fuste.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Considerações sobre a espécie

Os plantios florestais no Brasil são predominantemente realizados com espécies de pinus e de eucalipto, sendo cerca de 1,56 milhões e 5,1 milhões de ha plantados, respectivamente para cada uma das duas espécies citadas (ABRAF, 2013). Conforme demonstrado no Gráfico 1, essa área vem crescendo anualmente e, com ela, a produtividade como resultado de programas de pesquisa em melhoramento genético e desenvolvimento de práticas silviculturais mais adequadas.

Gráfico 1 – Histórico de plantios de *Eucalyptus* 2006 a 2012.



Fonte: ABRAF (2013)

Figura 1 – Área e distribuição dos plantios com *Eucalyptus* nos estados do Brasil até 2012



Fonte: ABRAF (2013)

Conforme a Figura 1, a maior concentração de plantios florestais de *Eucalyptus* nas Regiões Sul e Sudeste do país (72,3%) se justifica em função da localização das principais unidades industriais dos segmentos de Celulose e Papel, Painéis de Madeira Industrializada, Siderurgia a Carvão Vegetal e Madeira Mecanicamente Processada (ABRAF, 2013). Da área plantada com *Eucalyptus* no Brasil (5.102.030 ha), 53% está concentrado na Região Sudeste.

2.2 - Funções de afilamento

Segundo (CAMPOS e LEITE, 2009) os modelos de afilamento podem ser classificados como:

- Modelos Polinomiais: são aqueles baseados na comparação entre a variável dependente $(di/Dap)^2$ ou $(di/D0,1)^2$ e os polinômios formados pela variável independente (hi/h) .

- Modelos Sigmoidais: utilizam transformações de variáveis de modo que o modelo se assemelha a forma natural dos troncos. Trata-se de expressões matemáticas que geram um perfil semelhante a uma curva sigmoide.

- Modelos Segmentados: consistem no uso de submodelos justapostos, cada um representando uma porção do tronco. A união dos submodelos se dá por meio da imposição ao modelo geral.

- Modelos definidos por análise multivariada: baseiam-se na aplicação de análise multivariada (análise de componentes principais) para investigar as variações existentes na estrutura dos dados e definir o modelo de regressão a ser utilizado para descrever o perfil do tronco.

- Modelos de razão entre volumes: além das vantagens referentes a flexibilidade e amplitude das informações geradas, as funções de afilamento apresentam ainda o princípio da compatibilidade entre o volume total e os volumes comerciais estimados. Tal princípio garante que a soma dos volumes comerciais seja sempre menor que o volume total.

Segundo (SCOLFORO, 2005) define afilamento, forma, “taper”, ou adelgaçamento como a taxa de decréscimo em diâmetro que ocorre ao longo do tronco da árvore. A representação matemática desse fenômeno é possível através do uso de modelos que retratam o perfil do fuste. Podem-se estimar os diâmetros correspondentes a quaisquer alturas das árvores, assim como as alturas as quaisquer diâmetros. Portanto, pode-se com equações de afilamento estimar os multiprodutos da madeira das árvores, bastando para tal definir os comprimentos desejados e os diâmetros mínimos a eles associados.

De acordo com (CAMPOS e LEITE, 2002) o termo *taper* (afilamento do fuste) é utilizado para expressar a taxa de decréscimo do diâmetro ao longo do fuste. Estudos de *taper* baseiam-se em equações que permitem estimar diâmetro em qualquer altura ao longo do fuste, a partir das variáveis, DAP (diâmetro a altura do peito) e altura total.

Segundo (KOZAK, MUNRO e SMITH, 1969), os modelos de afilamento são relações funcionais que permitem descrever o perfil longitudinal de um tronco. São funções consideradas dinâmicas porque possibilitam a estimativa do diâmetro (di) de dada altura (hi) e altura a qualquer diâmetro especificado, como também servem para fazer o sortimento e estudar a evolução da forma da árvore ao longo de sua vida.

2.3 - Fatores que afetam a forma da Árvore

Segundo (HUSCH, MILLER e BEERS, 1982), os fustes podem diferenciar-se em diferentes formas, com a base se aproximando de um neilóide, a porção central a um parabolóide e o topo similar a um parabolóide ou um cone.

Segundo (SCOLFORO, 2005) a forma do fuste muda com o tamanho da copa, hereditariedade, espaçamento, tratos culturais, posição sociológica, idade e sítio. No entanto, de maneira geral, os perfis dos fustes das árvores, genericamente, não se assemelham a um sólido geométrico específico, mas a vários deles, segundo a porção do tronco considerada.

Segundo (FIGUEIREDO FILHO, 1991 citado por QUEIROZ, 2006), afirma que a qualidade do sítio afeta a forma do tronco. Em sítios de baixa capacidade produtiva, a árvore tem maior conicidade ou formas indesejáveis. Nesses sítios, o crescimento em altura para árvores de mesmo diâmetro é menor e como consequência o fuste é mais afilado. Nos sítios produtivos, o crescimento é mais concentrado na parte da copa, enquanto nos sítios pobres, o crescimento tende a ser uniformemente distribuído no tronco.

Ainda segundo (FIGUEIREDO FILHO, 1991 citado por QUEIROZ, 2006), a relação do fator de forma natural com a idade, mostra que a melhora da forma nas idades jovem é bastante rápida estabilizando-se com o passar do tempo. Normalmente, as árvores jovens tem copa comprida e forte conicidade.

Segundo (SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1998) a conicidade das árvores tende a ser menor nas idades mais adultas. Ainda com relação a forma da árvore esses autores afirmam que muitas vezes árvores jovens, de crescimento livre, tem longas copas e conseqüentemente forte afilamento, e quando em competição sua copa tende a reduzir, o tronco livre tende a aumentar logo cedo, melhorando a forma do tronco principal.

As árvores que crescem isoladas mantem uma copa proporcionalmente mais comprida e o tronco assume então uma forte conicidade. Este fato pode também ser observado nas árvores que crescem em povoamentos, mas que tem ainda um crescimento livre, característico das árvores dominantes que normalmente apresentam uma copa vigorosa (QUEIROZ, 2006).

Com a diminuição da copa das árvores, estas passam a ter melhor forma, uma vez que ocorre um aumento de incremento na base da copa da árvore. Neste caso o

crescimento é proporcionalmente maior na parte superior do tronco, diminuindo a conicidade (SCOLFORO e FIGUEIREDO FILHO, 1998).

3 - METODOLOGIA

3.1 - Descrição da Área

Os dados para o estudo foram coletados em um plantio clonal de *Eucalyptus*, com três diferentes clones, em três diferentes idades, plantados no espaçamento de 4x3 metros. O clone 1 com idade de cinco anos, clone 2 com idades de quatro e cinco anos e clone 3 com idade de quatro e de seis anos. A área de estudo está localizada no Sul da Bahia.

3.2 - Coleta de Dados

Os dados de cubagem para ajuste dos modelos foram obtidos através de árvores amostra abatidas, os resumos seguem na Tabela 1, 189 árvores do clone 1, 127 árvores do clone 2, e 189 do clone 3, distribuídas em diferentes classes de DAP (diâmetro medido a 1,30 m do solo), e medidas nas alturas (h) de 0,1, 0,5, 1, 1,5, 2 e posteriormente de 2 em 2 metros, totalizando 505 árvores. Os estratos para fins de cubagem foram definidos pela idade e pelo material genético do povoamento.

TABELA 1 – TABELA COM RESPECTIVOS DIÂMETROS (CM) e ALTURAS (M) MÍNIMAS E MÁXIMAS E NÚMERO DE OBSERVAÇÕES POR MATERIAL GENÉTICO E IDADE.

Clone	Idade (anos)	DAP (Mínimo)	DAP (Médio)	DAP (Máximo)	HT (Mínimo)	HT (Médio)	HT (Máximo)	N(Observações)
1	5	6,2	15,1	23,9	12,4	25,1	34,8	189
2	4	6,4	15,2	24,4	11,1	24,0	31,7	64
2	5	6,0	15,0	23,9	11,2	24,2	31,8	63
3	4	6,2	13,0	20,1	12,4	22,0	27,1	49
3	6	6,5	16,3	28,3	12,6	25,4	36,0	140

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os dados amostrados por material genético e classes de diâmetro e altura.

TABELA 4 – DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS DAS ÁRVORES CUBADAS, POR CLASSE DE DIÂMETRO E ALTURA E PARA O CLONE 3.

Material Genético	Dap (cm)	Altura Total (m)																									Total	
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
Clone 3	6		1																								1	
Clone 3	7	1	3	2	1	1	1																				9	
Clone 3	8			8	2	7		1																			18	
Clone 3	9				1	2		1	2																		6	
Clone 3	10					3	1	2	2	1																	9	
Clone 3	11							5	5	1	2	1															14	
Clone 3	12								1	1	2	4	2														10	
Clone 3	13									1	1	2	5	1	1												11	
Clone 3	14										1	2	2		3												8	
Clone 3	15									1		1	2	5	3												12	
Clone 3	16											1	3	4	3		1										12	
Clone 3	17												2	4	2	3											11	
Clone 3	18													2	3	1	4	3									13	
Clone 3	19													1	1			2	2								6	
Clone 3	20														1			1	7	2							11	
Clone 3	21																		1	1	2						4	
Clone 3	22																		2	3	7	1					13	
Clone 3	23																				1	1	1				3	
Clone 3	24																					5					5	
Clone 3	25																							1	2		3	
Clone 3	26																						1		1	1	3	
Clone 3	27																								3	2	5	
Clone 3	28																										2	2
Total		1	4	10	4	13	2	9	10	4	6	8	10	6	11	17	10	4	5	9	13	17	3	2	6	5	189	

3.3 - Modelos Avaliados

Neste trabalho foram testados os seguintes modelos.

a - Polinômio do quinto grau – Schöepfer (1966)

$$\hat{d}_i = dap \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{H} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{H} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{H} \right)^5 \right]$$

b - Demaerschalk (1972)

$$\hat{d} = 10^{\hat{\beta}_0} dap^{\hat{\beta}_1} H^{2\hat{\beta}_2} (H-h)^{2\hat{\beta}_3}$$

c - Ormerod (1973)

$$\hat{d} = dap (H-h/H - 1,30)^{\hat{\beta}_1}$$

d - Garay (1979)

$$\hat{d} = dap \hat{\beta}_0 (1 + \hat{\beta}_1 \text{Ln}(1 - \hat{\beta}_2 h^{\hat{\beta}_3} H^{-\hat{\beta}_3}))$$

Onde:

dap = diâmetro a altura do peito

d = diâmetro comercial (cm);

H = altura total (m);

hi = altura comercial (m);

β_i = parâmetros de regressão, com $i = 0, 1, \dots, 4$;

Os ajustes foram feitos utilizando-se o procedimento Quase Newton, disponível no Software Statistica 8.0.

3.4 - Avaliação Estatística dos Modelos

As equações estimadas foram avaliadas por meio das estatísticas : Desvio Padrão das Diferenças (SB), BIAS (B), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e o coeficiente de correlação (R) conforme a Tabela 5.

TABELA 5 – CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DO AJUSTE E VALIDAÇÃO DOS MODELOS

Critério	Estimador
Desvio Padrão das Diferenças (SB)	$SB = \frac{1}{n} \sum_1^n \sqrt{(e_i - bias\%)^2}$
BIAS(B)	$B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)$
Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM)	$RQEM = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \right]^{1/2}$
Coeficiente de Correlação (Ryy)	$R_{Y\hat{Y}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) - \left(\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) n^{-1}}{\sqrt{\left[\left\{ \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2 \right] \left[n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \right] \right\}}} \right)$

Y_i = diâmetro observado; \hat{Y}_i = diâmetro estimado; \bar{Y}_i = diâmetro médio; n = número de observações; $e_i = (Y_i - \hat{Y}_i) * 100/Y_i$; $bias \% = \frac{100}{n} * \sum_1^n \sum (Y_i - \hat{Y}_i)/Y_i$

A Raiz quadrada do erro médio (RQEM) avalia a diferença quadrática média entre os valores observados e estimados. Quanto menor o RMSE, melhor a precisão da estimativa, sendo ótimo quando é igual a zero (MEHTÄTALO, MALTAMO e KANGAS, 2006).

A estatística Bias (B) avalia a diferença média entre os valores observados e estimados, sendo considerado ótimo quando igual a zero. Quanto menor o desvio padrão dessas diferenças (SB) maior a exatidão.

A correlação entre os valores observados e estimados (Ryy) indica a força e a direção da relação entre as duas variáveis. Embora não permita inferir diretamente sobre igualdade entre valores observados e estimados (CAMPOS e LEITE, 2006), esta estatística indica o grau de associação entre valores observados e estimados e, juntamente com a análise de resíduos, permite inferir sobre a qualidade da estimação. Quanto mais próxima de um, maior a correlação entre as variáveis.

Foi estabelecido um ranking para classificar os modelos ajustados, classificando com notas de um a quatro, sendo a menor nota a melhor, o modelo que apresentar o menor somatório será o melhor modelo com base nas estatísticas estabelecidas.

Além dos métodos de exatidão citados na Tabela 5, foram feitas análises gráficas relacionando os resíduos (%) com o diâmetro estimado assim com o histograma dos resíduos, para auxiliar na análise dos resultados.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentadas as estatísticas Bias (B), Desvio padrão das diferenças (SB), Raiz quadrada do erro médio (RQEM) e o Coeficiente de correlação (Ryy) e as notas atribuídas.

Para comparação dos modelos foi calculado o Coeficiente de correlação (Ryy) visto que o Coeficiente de determinação (R^2) não pode ser utilizado para comparar modelos não lineares.

Em geral os modelos testados apresentaram Coeficiente de correlação (Ryy) superiores a 0,90 , O modelo de Ormerod (1973), apresentou os menores coeficientes de correlação (Ryy) para todos os clones avaliados comparado com os outros modelos avaliados.

Os resultados de (MENDONCA et al., 2007) em seu estudo visando a otimização de multiprodutos de *Eucalyptus* verificou-se que o modelo de Ormerod (1973), foi o que apresentou melhor precisão para estimativas do diâmetro comercial e o modelo de Schöpfer (1966), obteve melhores resultados na estimativa da altura.

De acordo com a Tabela 6, para a estatística Bias(B) , o modelo de Demaerschalk (1972) foi o que apresentou valores mais próximos de 0 , porem o mesmo não apresentou o mesmo resultado para as demais estatísticas calculadas.

TABELA 6 – RESULTADO DAS ESTATÍSTICAS PARA AVALIAÇÕES DOS MODELOS.

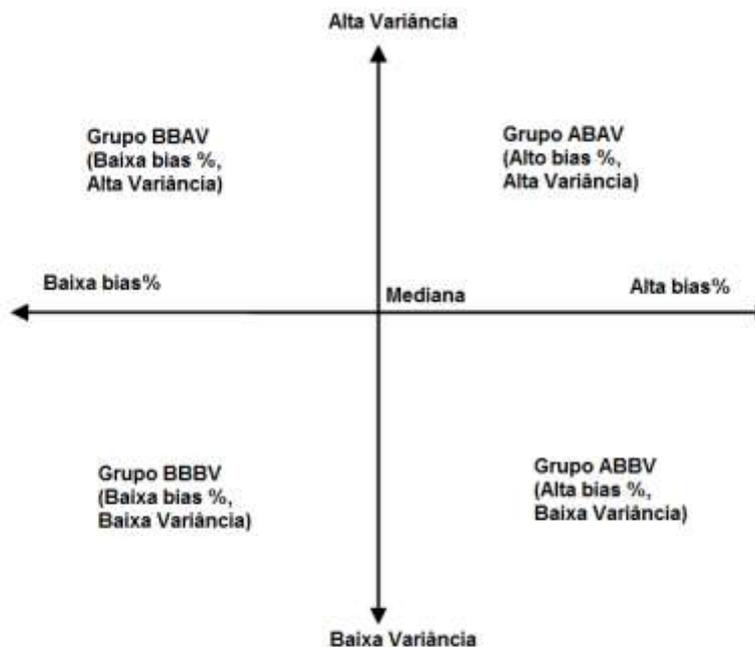
Material Genético	Modelo	Estatísticas								
		B	SB	RQEM	Ryy	Classificação				
Clone1	Schöpfer (1966)	-0.061	3	5.28	2	0.58	2	0.995	2	9
	Demaerschalk (1972)	-0.013	1	5.43	3	0.77	3	0.991	3	10
	Ormerod (1973)	-0.178	4	5.94	4	0.83	4	0.990	4	16
	Garay (1979)	-0.055	2	5.09	1	0.52	1	0.996	1	5
Clone2	Schöpfer (1966)	-0.079	3	6.36	2	0.67	2	0.994	2	9
	Demaerschalk (1972)	-0.014	1	6.69	4	0.93	3	0.987	3	11
	Ormerod (1973)	-0.198	4	7.06	3	0.98	4	0.986	4	15
	Garay (1979)	-0.070	2	6.02	1	0.60	1	0.995	1	5
Clone3	Schöpfer (1966)	-0.049	3	6.31	2	0.70	2	0.994	2	9
	Demaerschalk (1972)	-0.002	1	6.66	4	0.91	3	0.990	3	11
	Ormerod (1973)	-0.166	4	6.64	3	0.94	4	0.989	4	15
	Garay (1979)	-0.040	2	6.10	1	0.62	1	0.995	1	5

Analisando a estatística Bias (B), conclui-se que todos os modelos apresentam ligeira subestimação dos diâmetros para os três clones em estudo.

Para o Desvio padrão das diferenças (SB), o modelo de Garay (1973), foi o melhor seguido pelo modelo de Schöpfer (1966), indicando uma menor variação entorno da média.

Uma maneira eficiente de interpretar as estas estatísticas foi proposta por (ISLAM, 2009), conforme demonstrada na Figura 2, onde é realizada uma categorização das estimativas baseados em Bias% e variância dos erros de medição na medição. bias% e variância cruzando em suas medianas.

Figura 2 – Categorização das estimativas baseadas em Bias % e Variância.



Fonte: ISLAM (2009)

TABELA 7 – ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS POR MATERIAL GENÉTICO PARA OS MODELOS TESTADOS.

Material Genético	Modelo	Parâmetros					
		β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5
Clone1	Schöpfer (1966)	1.152	-3.664	17.394	-41.755	43.713	-16.882
	Demaerschalk (1972)	0.001	0.862	-0.291	0.358		
	Ormerod (1973)	0.692					
	Garay (1979)	1.185	0.290	0.971	0.287		
Clone2	Schöpfer (1966)	1.170	-4.004	18.930	-44.233	45.554	-17.432
	Demaerschalk (1972)	0.067	0.856	-0.284	0.332		
	Ormerod (1973)	0.642					
	Garay (1979)	1.209	0.251	0.982	0.229		
Clone3	Schöpfer (1966)	1.153	-3.637	16.790	-39.248	40.068	-15.136
	Demaerschalk (1972)	0.082	0.957	-0.357	0.356		
	Ormerod (1973)	0.688					
	Garay (1979)	1.195	0.283	0.972	0.269		

Baseado nas análises estatísticas e análises gráficas o modelo de Garay (1979) foi o melhor modelo para estimar o diâmetro comercial para os três clones em estudo .

Apesar de alguns modelos estimarem com maior qualidade, o modelo de Garay (1979) pode ser utilizado para estimar diâmetros para todo o fuste.

(LEITE et al., 2006), estudando funções de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb, também obtiveram boas estimativas para o diâmetro comercial (d) com o modelo de Garay (1979), além de encontrar estimativas consistentes com o mesmo modelo, para as variáveis altura e volume. Os mesmos autores relatam que esse modelo é derivado da função Chapman-Richards, e é flexível o suficiente para descrever as variações de forma em árvores de diferentes espécies e tamanhos e consistente em relação às variáveis diâmetro, altura e volume.

O modelo de Garay (1979) apresentou melhor resultado em relação aos modelos de Schöpfer (1966) e Hradetzky, na estimativa de altura comercial, em estudo de modelos de afilamento em *Eucalyptus* sp. (SOUZA et al., 2008).

Como a avaliação geral dos modelos foi feita levando-se em conta não somente as estatísticas Coeficiente de correlação (Ryy), Bias (B), Desvio padrão das diferenças (SB) e Raiz quadrada do erro médio (RQEM), mas também uma análise gráfica dos resíduos. Pode-se observar que nem sempre a equação que apresentou a melhor pontuação, deixa de apresentar altos erros em alguns pontos ao longo da linha média, indicando que a pontuação não é o único fator decisivo na escolha de um modelo.

FIGURA 3 – DIÂMETRO OBSERVADO (DOBS) VERSUS DIÂMETRO ESTIMADO (DEST) PARA OS MODELOS DE SHÖEPFER (1966) E DEMAERSCHALK (1972).

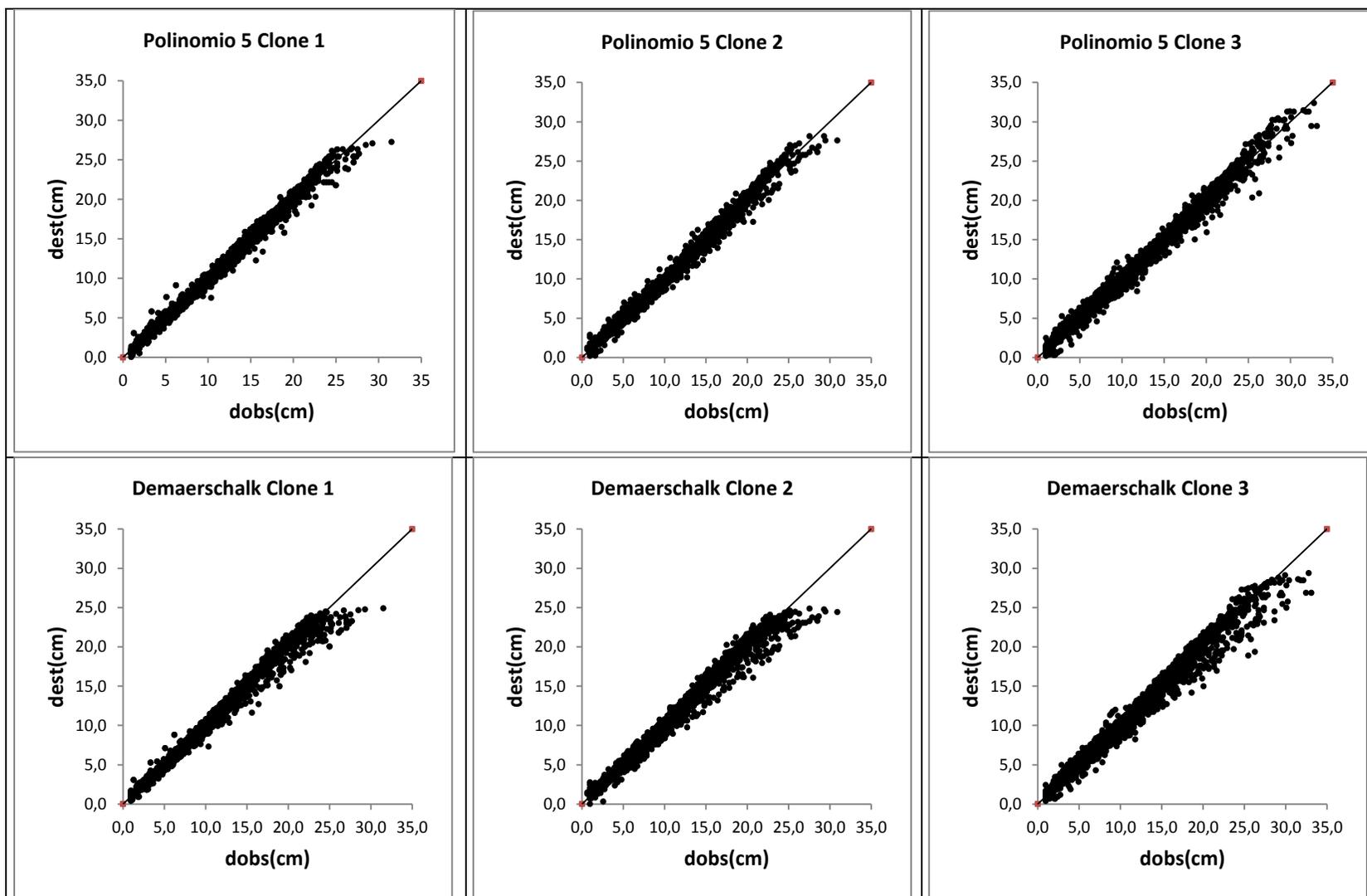


FIGURA 4 – DIÂMETRO OBSERVADO (DOBS) VERSUS DIÂMETRO ESTIMADO (DEST) PARA O MODELO DE ORMEROD (1973) E GARAY (1979).

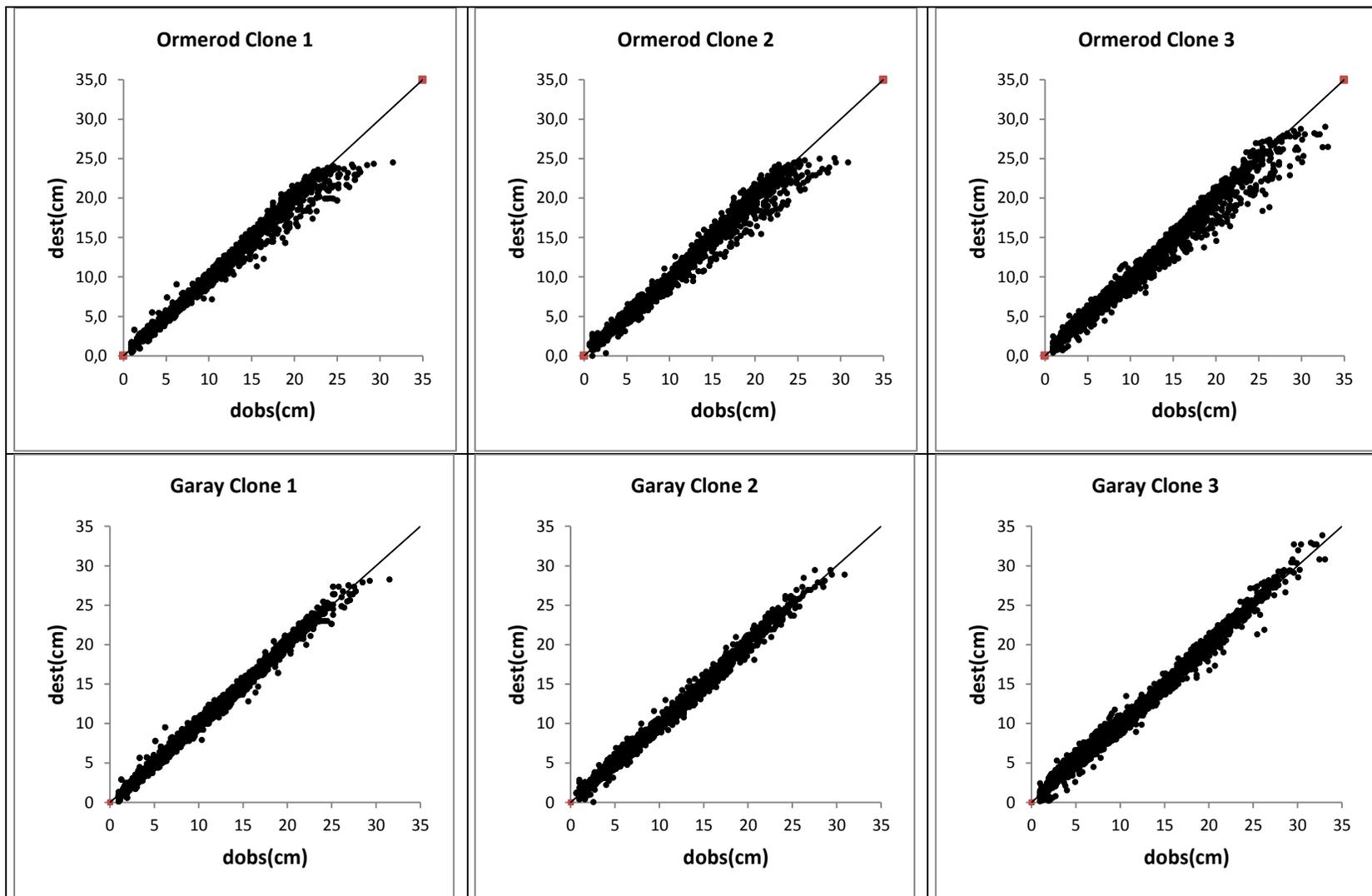


FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DO (D) ESTIMADO PARA O MODELO DE SHÖEPFER (1966) E DEMEAERSCHALK (1972).

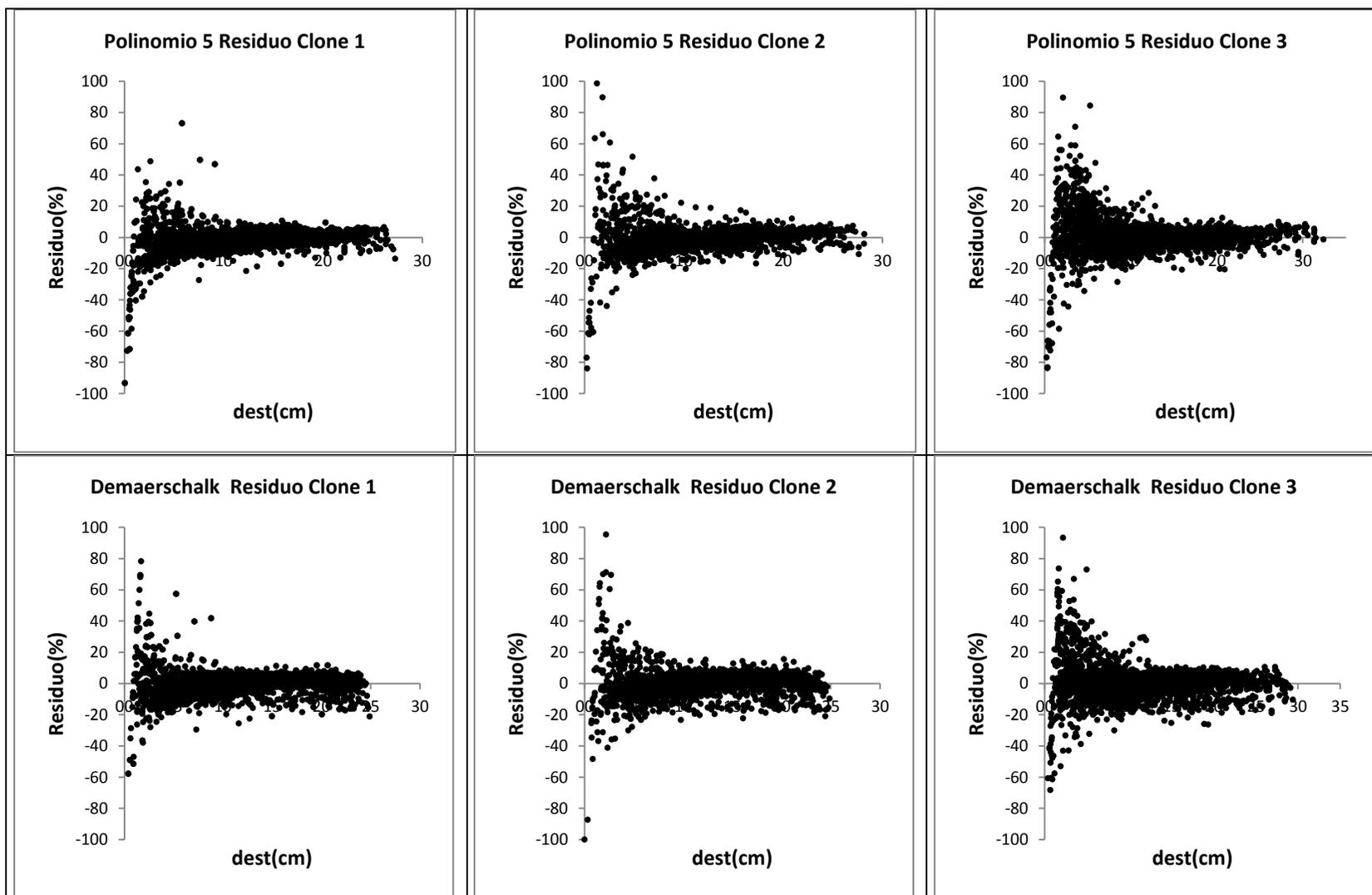
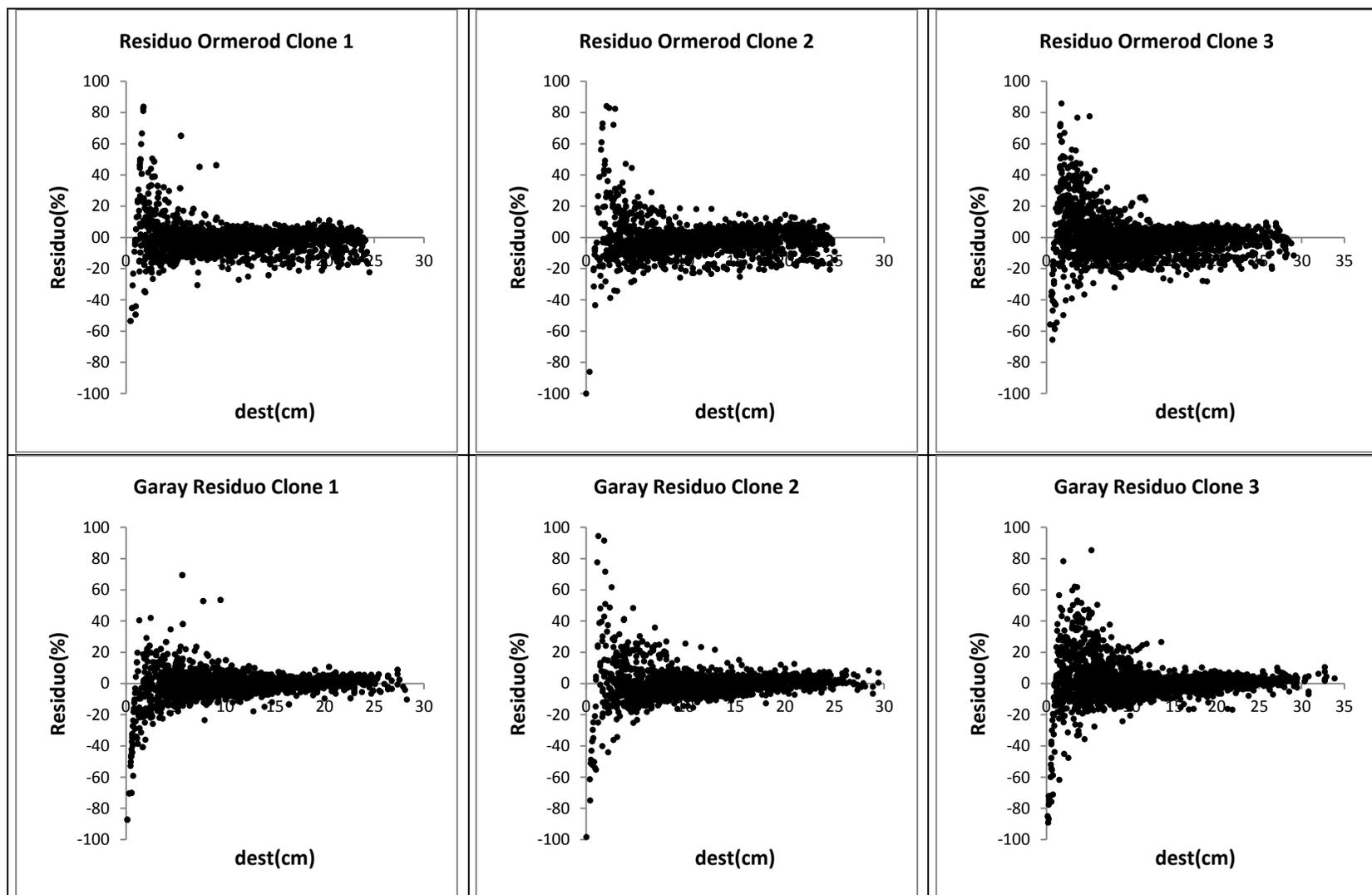


FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DO (D) ESTIMADO PARA O MODELO DE ORMEROD (1973) E GARAY (1979).



A distribuição gráfica dos resíduos apresentou subestimativa e superestimativa, dependendo do diâmetro da árvore amostra e do modelo, como esperado, no entanto pode-se constatar uma tendência maior para subestimativa dos diâmetros dos modelos avaliados.

De acordo com as Figuras de 3 a 6, nota-se que as equações do modelo de Demaerschalk (1972) e Ormerod (1973), apresentaram subestimativa para os maiores diâmetros. Neste caso, observou-se uma tendenciosidade, com praticamente todos os valores subestimados em todas os diâmetros observados. Enquanto que, os modelos de Schöpfer (1966) e Garay (1979) apresentaram estimativas consistentes nestas classes de diâmetros.

As Figuras 7 e 8 de forma complementar apresentam os histogramas dos desvios para a distribuição dos erros e tendências, visto que os erros devem apresentar distribuição normal e que as Figuras 5 e 6 não nos permitem essas interpretações.

FIGURA 7 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DO “D” ESTIMADO PARA O MODELO DE SCHOEPFER (1966) E DEMAERSCHALK (1972).

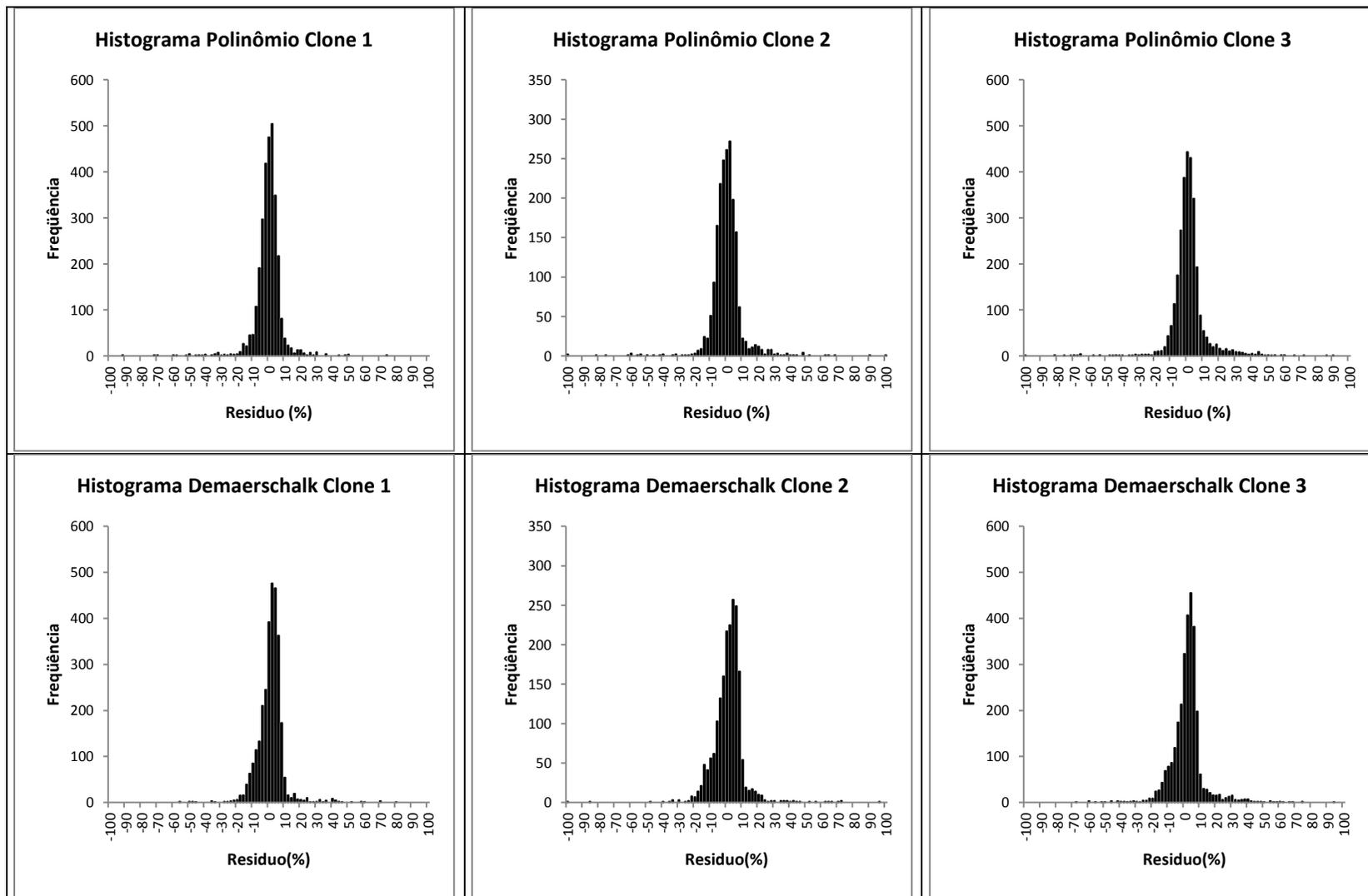
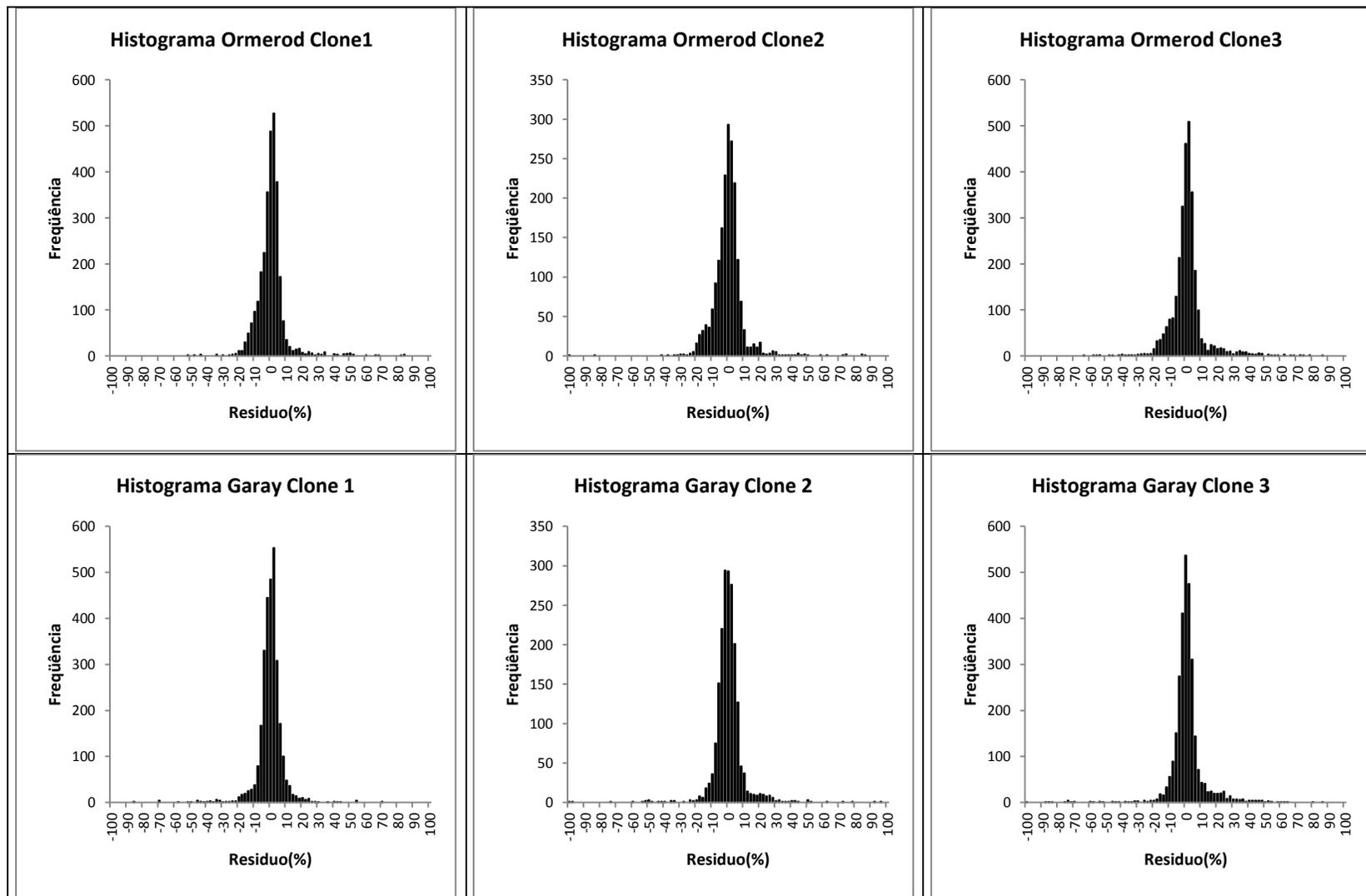


FIGURA 8 – HISTOGRAMA DOS RESÍDUOS EM FUNÇÃO DO “D” ESTIMADO PARA O MODELO DE ORMEROD (1973) E GARAY (1979).



5 – CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, para as condições em que o estudo foi desenvolvido, foi possível concluir que:

- Os modelos de Garay (1979) é o mais indicado seguido pelo modelo de Schöpfer (1966) para estimar o diâmetro comercial para os três clones em estudo, segundo as estatísticas utilizadas.

- O modelo de Ormerod (1973) apresenta tendência de subestimativas para os maiores diâmetros nos três clones avaliados, não sendo recomendado seu uso para os clones em estudo.

- Considerando os três clones estudados pode se concluir que a eficiência dos modelos de Garay (1979) e Schöpfer (1966) independe do material genético.

- O modelo de Demaerschalk (1972) foi eficiente para estimar o diâmetro comercial para o clone 1 e ineficiente para os clones 2 e 3 .

REFERÊNCIAS

- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. 148 p.
- ARCE, J.E. **Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte.** 125p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas.** 3ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 548 p.
- FIGUEIREDO, E.O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis L.f.* **Acta Amazônica**, v. 36, n.4, p.465-482, 2006.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B.E.; HITCH, K.L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 83, p.36-46, 1996.
- HUSCH, B.; MILLER, C.L.; BEERS, T.E. **Forest mensuration.** 3.ed. New York: J. Willey & Sons , 1982. 397p.
- ISLAM, M.N.; KURTILLA, M.; MEHTÄTALO, L.; HAARA, A. Analyzing the Effects of Inventory Errors on Holding-Level Forest Plans: the Case of Measurement Error in the Basal Area of the Dominated Tree Species. **Silva Fennica**. V.43(1),p. 71–85. 2009.
- JUNIOR, M.Y. **Avaliação Biométrica e econômica de plantios de *Pinus taeda L.* em santa catarina.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba . 2009.
- KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.H.G. Taper functions and their application in Forest inventory. **Forestry Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969.
- LEITE, H.G.; OLIVEIRANETO, R.R.; MONTE, M.A.; FARDIN, L.P.; ALCANTARA, A.M.; BINOTE, M.L.M.S.; CASTRO, R.V.O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis L.f.* **Scientia Forestalis**. V.39, n. 89, p.053-059. 2011.

LEITE, H.G.; SILVA, M.L.M.; BINOTI, D.H.B.; FARDIN, L.P.; TAKIZAWA, F.H. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. **European Journal of Forest Research**, v.130, n.2, p.263-269, 2011.

LEITE, H.G.; VASCONCELLOS, J.R.G.; CRUZ, J.P.; SOUZA, A.L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.1, p. 99-106, 2006.

MACHADO, S.A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M.B.; FILHO, A.F.; FIGUEIREDO, D.J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede. **Boletim de Pesquisas Florestais**, Colombo , n.48, p.41-64, 2004.

MENDONÇA, A.R.; SILVA, G.F.; OLIVEIRA, J.T.S.; NOGUEIRA, G.S.; ASSIS, A.L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus sp.* para multiprodutos. **Revista Cerne**, Lavras, v.13, n.1, p. 71-82, 2007.

MEHTÄTALO, L.; MALTAMO, M.; KANGAS, A. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. **Silva Fennica**, v.40, n.3, p.501-516, 2006.

MIGUEL, E.P.; **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T.BLAKE) na região norte do estado de Goiás**. 161f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba . 2009.

OLIVEIRA, M.L.R.; **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não desbastados de clones de Eucalipto** .103f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

PARRESOL, B.R.; HOTVEDT, J.E.; CAO, Q.V. A volume and taper prediction system for bald cypress. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 17, p. 250-259, 1987.

PIRES, L.M.; CALEGARIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvores . **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.5, p.845-852, 2007.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, 2006.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria Florestal: Parte I: modelos de regressão linear e não linear; Parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca**. Lavras: UFLA/ FAEPE. 2005. 352p.

SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria Florestal: medição e volumetria de arvores**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p.

SILVA, F.D.; 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.

SOUZA, C.A.M.; SILVA, G.F.; XAVIER, A.C.; MENDONÇA, A.R., ALMEIDA, A.Q. Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 387-399, 2008.