

Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*

Sebastião do Amaral Machado

Márcio Barbosa da Conceição e Décio José de Figueiredo

Engenharia Florestal
Universidade Federal do Paraná
80210-170 Curitiba, PR
sammac@floresta.ufpr.br

(Recebido: 18 de abril de 2002)

Resumo: *O presente trabalho objetiva testar vários modelos matemáticos que expressam a relação entre o volume com diâmetro à altura do peito de troncos de Pinus oocarpa e a altura total, e selecionar o modelo de melhor ajuste e precisão para cada idade e regime de desbaste. A base de dados utilizada para desenvolver este estudo foi obtida em plantios de Pinus oocarpa, pertencentes à empresa Duraflora S. A., situada na região sudoeste de São Paulo, no município de Agudos. Essa base se constitui de dados sobre o diâmetro à altura do peito (DAP) e à altura total (H) de 1099 árvores submetidas a cubagem rigorosa, distribuídas eqüitativamente em 11 tratamentos com diferentes idades e número de desbastes. Foram ajustados 9 modelos tradicionais selecionados na literatura florestal. A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem (recalculado quando necessário) e análise gráfica de resíduos. Após calculadas as estatísticas de ajuste e precisão para todos os tratamentos, foi elaborado um ranking, para detectar o modelo que em geral proporcionou estimativas mais acuradas de volume total com e sem casca. No cômputo geral, o modelo tradicional mais adequado para a estimativa do volume foi o desenvolvido por Meyer. Para confirmação do resultado obtido pelo ranqueamento, foi feita a análise gráfica de resíduos para os três modelos melhor colocados (Meyer, Spurr e Stoate) e para o modelo desenvolvido por Schumacher-Hall (modelo amplamente utilizado na estimativa do volume), para analisar se existia tendenciosidade na estimativa de volume desses modelos. Analisando-se os resultados, concluiu-se que o melhor modelo para expressar, em média, o volume individual de árvores de Pinus oocarpa foi o de*

Meyer, tendo os tratamentos (idade e número de desbastes) influência sobre as estatísticas de ajuste (R^2 aj.) e de precisão ($Syx\%$).

Palavras-chave: *Pinus oocarpa*, equações de volume, seleção de modelos

Abstract: *The objective of this research was to test several mathematical models that express the relationship of the volume with diameter at breast height and total height and to select the best one for each age and thinning regime. The used data base to develop this study was obtained from Pinus oocarpa plantations belonging to the company Duraflora S.A., located in the Southwestern region of São Paulo, in the municipal district of Agudos. This data basis constituted of the diameter at breast height (DBH) and total height (H) of 1099 trees submitted to rigorous volume determination, were equally distributed in 11 treatments corresponding to different ages and number of thinnings. Nine traditional models selected from the forest literature were adjusted for each treatment. The selection of the best model was based on the following choice approaches: adjusted determination coefficient, standard error of estimate in percent and graphic analysis of residuals. After having calculated the adjustment statistics and precision for all the treatments, a ranking was carried out, to detect the model that provided best estimates of total volume with and without bark. In the general computation, the traditional model more adapted for estimating volume was that one developed by Meyer. For confirmation of the result obtained by the ranking, it was made the graphic analysis of residuals for the three best models (Meyer, Spurr and Stoaite respectively) and for the model developed by Schumacher-Hall (model largely used as volume equation), to analyze possible existence of bias of volume estimation by these models. After all the analysis, it was verified that, in general, the model from Meyer resulted as the best equation to estimate individual volume for Pinus oocarpa for the present case. It was also verified that the age and number of thinnings affected the magnitude of R^2 aj. and the precision ($Syx\%$) of the fitted equations.*

Key words: *Pinus oocarpa*, volume equations, models selection

1 Introdução

Em virtude da redução da oferta de madeira de folhosas, notadamente nas regiões sul e sudeste do Brasil, têm se envidado esforços no sentido de implantar florestas para suprir as necessidades de consumo e abastecimento das indústrias florestais. Neste sentido, as espécies do gênero *Pinus* têm sido usadas amplamente em programas de reflorestamento e, dentre esses, os *Pinus* tropicais têm sido usados para reflorestamentos no Brasil, notadamente nas regiões mais quentes.

A variável volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial florestal disponível em uma região, sendo que o volume individual fornece um ponto de partida para avaliação do conteúdo lenhoso dos povoamentos florestais.

O procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo diâmetro à altura do peito

(DAP com casca) e à altura total (H) ou altura comercial. Uma terceira variável independente que eventualmente pode ser usada em equações volumétricas é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma.

A modelagem do volume individual de árvores em função dessas variáveis independentes começou a ser desenvolvida na primeira metade do século XX, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores, notadamente a partir da década de 50.

Muitos modelos matemáticos foram sendo criados e testados para o ajuste de equações de volume. Apesar do uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor performance para todas as espécies e condições. Por isto, é recomendável testar vários deles para, através de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso.

Inúmeros pesquisadores dedicaram esforços visando ao ajuste e comparação de equações de volume para diferentes espécies e situações. Dentre os trabalhos pioneiros, podem ser citados os de DRESS (1959), GOLDING & HALL (1961), VEIGA (1972), PAULA NETO (1977) e SIQUEIRA (1977), além de muitos outros, inclusive mais recentes.

A existência de 11 tratamentos diferentes, nos quais se variam a idade e o número de desbastes em plantações de *Pinus oocarpa* da companhia Duraflora (localizados no município de Agudos, em São Paulo), possibilitou a cubagem de 100 árvores por tratamento. Sua aplicação forneceu conjuntos de dados apropriados para ajustes de equações de volume individual, tanto com casca como sem casca, para essa espécie ainda carente de pesquisas dessa natureza no Brasil.

Desta forma, os objetivos da presente pesquisa foram testar vários modelos matemáticos que expressam a relação entre o volume com o diâmetro à altura do peito, e a altura total e selecionar o de melhor ajuste e precisão para cada idade e regime de desbaste.

2 Material e métodos

2.1 Caracterização e localização da área de estudo

Os dados para desenvolver este estudo foram obtidos em plantios de *Pinus oocarpa*, pertencentes à empresa Duraflora S. A., situada na região sudoeste do estado de São Paulo, no município de Agudos.

Conforme GOLFARI, CASER e MOURA (1978), essa região apresenta, como características básicas, a periodicidade de chuvas, invernos secos com deficiência hídrica, precipitação anual entre 1100 e 1400 mm, geadas pouco frequentes, temperatura média entre 16 e 19° C, clima submontano ou subtropical moderado e úmido, vegetação do tipo floresta ombrófila pluvial e campos submontanos, e altitude de aproximadamente 900 metros.

2.2 Coleta de dados

Foram tomados diâmetros, com e sem casca, ao longo dos fustes das árvores amostras abatidas com intervalos de 2,00 m, até um diâmetro mínimo de 3,0 cm. Simultaneamente, foram também medidos os diâmetros à altura do peito, com e sem casca, em centímetros, bem como à altura total (H), em metros, de 1099 árvores, distribuídas eqüitativamente por 11 tratamentos e, no interior destes, por classes de diâmetro. Os volumes com e sem casca de cada árvore foram calculados através da fórmula de Smalian.

A Tabela 1 especifica os tratamentos implementados nas plantações de *Pinus oocarpa* da empresa Duraflores S. A.

Tratamento	Idade (anos)	nº de desbaste	nº de árvores
A	8	1	100
B	7	0	100
C	5	0	100
D	12	3	100
E	15	4	100
F	10	2	100
G	19	5	100
H	22	6	100
I	25	6	100
J	6	0	99
L	11	2	100

Tabela 1. Especificação dos tratamentos implementados na área de estudo, de acordo com as respectivas idades, número de desbastes e número de árvores.

nº	Autor	Modelos
1	Hohenadl Kren	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$
2	Spurr	$v = \beta_0 + v = \beta_1 (d^2 h)$
3	Spurr	$v = \beta_1 (d^2 h)$
4	Spurr	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h)$
5	Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2 h)$
6	Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (d h)$
7	Berkhout	$\ln v = \beta_0 d^{\beta_1}$
8	Husch	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d$
9	Schumacker-Hall	$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$

Tabela 2. Modelos tradicionais testados para estimativa dos volumes, onde: v = volume estimado (m^3); \ln = logaritmo neperiano; d = diâmetro a 1,30 m do solo (cm); h = altura total da árvore (m); β_i = parâmetros dos modelos a serem estimados.

2.3 Modelos

Foram testados 9 modelos matemáticos tradicionais selecionados na literatura florestal (Tabela 2). Para cada um dos tratamentos constantes na Tabela 1, esses modelos foram ajustados no *software Estatística versão 5* (StatSoft, 1984-1996), visando à obtenção dos coeficientes de regressão, dos parâmetros estatísticos de comparação e da análise de resíduos.

2.4 Seleção do melhor modelo

A seleção do melhor modelo foi baseada nos seguintes critérios estatísticos de escolha: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa em percentagem, recalculado para as equações onde a variável dependente sofreu transformação, além da análise gráfica de resíduos.

O coeficiente de determinação (R^2) expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um for o valor do R^2 , melhor terá sido o ajuste. Aqui foram utilizados os valores de R^2 ajustados, obtidos diretamente do programa utilizado, pois, devido a esse ajuste, são comparáveis entre si, em todos modelos, qualquer que seja o número de variáveis independentes.

O erro padrão da estimativa (Syx) é uma estatística que mede a dispersão média entre os valores observados e estimados ao longo da linha de regressão, sendo que, quanto mais baixo for o valor do Syx %, melhor terá sido o ajuste. Para os modelos onde a variável dependente sofreu transformação, é necessário ressaltar que se deve recalcular o erro padrão residual, a fim de que se possa comparar estatisticamente as equações.

Esse recálculo foi feito da seguinte maneira

$$Syx_{\text{recalculado}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \hat{v}_i)^2}{n - p}}$$

em que: $Syx_{\text{recalculado}}$ = erro padrão da estimativa (m^3);

v_i = volume observado (m^3);

\hat{v}_i = volume estimado pelos modelos (m^3);

n = número de dados;

p = número de parâmetros estimados pelo modelo em questão.

Todos os modelos cuja variável dependente sofreu transformação (logarítmicos) têm seus volumes estimados sujeitos à discrepância logarítmica. Por isto antes do recálculo do erro padrão da estimativa, deve-se corrigir esta discrepância logarítmica multiplicando o volume estimado de cada árvore pelo fator de correção e só então fazer o cálculo para obtenção do $Syx_{\text{recalculado}}$.

Neste trabalho foi utilizado o fator de correção de Meyer

$$\text{fator de Meyer} = e^{0,5 Syx^2}$$

onde $e = 2,718281828$ e Syx = erro padrão da estimativa (m^3).

Mesmo sendo os estimadores de ajuste bons indicadores para a escolha do melhor modelo, considera-se como indispensável para a escolha em questão a análise gráfica de resíduos, pois, ela permite detectar se há ou não tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão, se os resíduos são independentes ou se há homogeneidade na variância. De acordo com DRAPER e SMITH (1966), o uso dos resíduos na forma relativa (percentagem), em função da variável dependente estimada, é o mais adequado para se ter melhor noção da dimensão das sub e super estimativas do valor real e comparar os diversos modelos ajustados. Como a avaliação gráfica é subjetiva, esta deve ser utilizada em conjunto com as estatísticas citadas anteriormente.

Para facilitar a escolha do melhor modelo, foi feito um ranqueamento entre os 9 modelos testados para os 11 tratamentos analisados. Segundo BARTOSZECK (2000), o objetivo deste *ranking*, é saber qual modelo, em média, teve a melhor *performance*.

Analisando-se as estatísticas de precisão resultantes de cada modelo para cada um dos tratamentos individuais, foi atribuída nota 1 à equação que apresentou maior precisão quanto ao $R^2_{aj.}$ e ao Syx%, nota 2 àquela que se apresentou em segundo lugar e assim sucessivamente. Após esta classificação individual, foi feita uma soma desta pontuação, para a mesma equação em todos os tratamentos, uma a uma. No cômputo geral, a equação que recebeu a menor soma, após a análise gráfica de resíduos (se não tendenciosa), foi recomendada como a mais adequada para uso.

3 Resultados e discussão

Nas Tabelas 3 e 4, estão apresentados os resultados pertinentes aos ajustes dos 9 modelos tradicionais para estimativa de volume com e sem casca, com seus respectivos parâmetros estatísticos de precisão ($R^2_{aj.}$, Syx% e F), para o tratamento A.

Similarmente, foram também preparadas tabelas para todos os outros tratamentos, os quais, por motivo de espaço, deixaram de ser apresentados neste trabalho.

Observou-se que para o tratamento A, com casca, de modo geral, os 9 modelos testados apresentaram excelente desempenho com relação aos valores de $R^2_{aj.}$, variando de 0,8757 a 0,9845 para os modelos 7 e 3, respectivamente, tendo para o mesmo tratamento, sem casca, um comportamento ainda melhor, estando o $R^2_{aj.}$ entre 0,9446 e 0,9858 para os modelos 1 e 3, respectivamente. Todos os modelos apresentaram erros padrões da estimativa inferiores a 15%, com exceção do modelo 8, que apresentou um erro padrão da estimativa de 15,51%, para o ajuste com casca. Para o ajuste sem casca, o erro padrão da estimativa apresentou valores entre 6,28% e 10,68% para os modelos 9 e 8, respectivamente.

Nos tratamentos B, C, D, E, F, G, H, I, J e L, com e sem casca, os 9 modelos testados apresentaram desempenho semelhante ao tratamento A nos ajustes com e sem casca. Com relação ao $R^2_{aj.}$, houve variação de 0,8496 (modelo 2 do tratamento H) a 0,9951 (modelo 3 do tratamento F), para o ajuste com casca, e 0,8783 (modelo 2 do tratamento I) a 0,9964 (modelo 3 do tratamento F), para o ajuste sem casca. O modelo 3 foi o que apresentou, para todos os tratamentos, com e sem casca, o melhor ajuste.

Com relação ao $Syx\%$, os resultados se mostraram aceitáveis para os ajustes, variando entre 5,70% (modelo 5 do tratamento F) e 13,61% (modelo 8 do tratamento C), para o volume com casca, e 5,41% (modelo 5 do tratamento F) e 14,72 % (modelo 8 do tratamento C), para o volume sem casca.

Analisando-se os resultados de ajuste de todos os tratamentos com e sem casca, observou-se que os tratamentos B, C e J, apesar de confirmarem a alta correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes (altos valores de $R^2_{aj.}$), apresentam os maiores valores de $Syx\%$. Este fato pode ser explicado por estes tratamentos serem mais novos (7, 5 e 6 anos, respectivamente) e não terem sofrido desbastes, havendo alta dispersão da base de dados de DAP e altura, o que acarreta menor precisão dos modelos para estes tratamentos. Nos tratamentos que já haviam sofrido desbastes, observou-se aumento na precisão do ajuste, como no tratamento F (2 desbastes, 10 anos), que possui os menores valores de $Syx\%$, pois está mais homogeneizada. Nos tratamentos em que o número de desbaste foi superior a 2, observou-se queda na precisão quando comparados ao tratamento F, mesmo assim os valores de $Syx\%$ apresentados são aceitáveis.

Os resultados do teste F obtidos nos ajustes com e sem casca se demonstraram também significativos a nível 0,01, variando entre 123,2 (modelo 6 do tratamento I) e 16.284,0 (modelo 3 do tratamento F), para o ajuste com casca, e 159,3 (modelo 6 do tratamento I) e 22.302,0 (modelo 3 do tratamento F). Esta estatística foi apresentada apenas como uma complementação das análises, porém ela não foi usada no *ranking* para a comparação entre os modelos testados.

3.1 *Ranking* dos modelos

Após analisados os comportamentos dos parâmetros $R^2_{aj.}$ e $Syx\%$, confeccionou-se um *ranking* cuja pontuação das estatísticas de precisão é apresentada nas Tabelas 5 e 6, para a escolha do modelo que, em média, foi o mais preciso para se estimar o volume, para os tratamentos com e sem casca. Esse *ranking* consistiu em atribuir valores de 1 a 9, tanto para o $Syx\%$ como para o $R^2_{aj.}$. Valores 1 foram atribuídos para o modelo de melhor ajuste e valores 9 para o de pior ajuste, para cada um dos tratamentos com e sem casca.

Como se pode observar na Tabela 5, para os ajustes com casca, os modelos 1, 8 e 7, de acordo com o ranqueamento, obtiveram as maiores pontuações, fato que os descarta da possibilidade de uso; os modelos 6, 3 e 5 obtiveram os menores somatórios e, conseqüentemente, caracterizam-se pela eficiência na estimativa do volume para todos os tratamentos em questão.

Para os tratamentos sem casca (Tabela 6), os modelos 8, 7 e 1 obtiveram as maiores pontuações, fato que os descarta também da possibilidade de uso; os modelos 6, 3 e 5 obtiveram também os menores somatórios, fato que os caracteriza em média, pela eficiência na estimativa do volume, para todos os tratamentos em questão. Nota-se que os melhores e os piores modelos para a estimativa do volume, tanto com casca como sem casca, foram os mesmos.

Observa-se também, nas Tabelas 5 e 6, que o modelo 3 foi sempre o melhor quanto ao $R^2_{aj.}$. No entanto, a pontuação desse modelo quanto ao $Syx\%$ foi elevada para a maioria dos tratamentos. Este fato, na realidade, cria uma dubiedade na interpretação dos resultados e na recomendação do melhor modelo.

Observando-se os *rankings* dos modelos constantes nas Tabelas 5 e 6, verificou-se que o modelo de Meyer (nº 6) foi o melhor quanto ao $Syx\%$, tanto para o volume com casca como sem casca. Seguem-se na pontuação os modelos de Stoate (nº 5) e o de Schumacher - Hall (nº 9). Como a estatística Syx é mais apropriada do que o R^2 para a seleção das equações de regressão (DRAPER & SMITH, 1966), recomenda-se o uso da equação de Meyer para a estimativa de volume.

Comparando-se os resultados da Tabela 3 para o tratamento B (idade de 8 anos e um desbaste) com os da Tabela 7 para o tratamento H (idade 22; 6 desbastes), observou-se que os valores de $R^2_{aj.}$, em média, tendem a diminuir ligeiramente, passando de 0,93 para 0,91. Por outro lado, os valores de $Syx\%$ tendem, em média, a melhorar bastante, passando de 12,76% (para o tratamento B), para 9,58% (para o tratamento H). Isto implica que as estimativas de volume para os tratamentos mais velhos são relativamente melhores.

Equações	Estatística	Tratamentos											Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	
1	Sys%	7	8	9	7	8	7	2	6	6	9	7	76
	$R^2_{aj.}$	8	9	9	8	9	7	7	7	5	9	8	86
2	Sys%	5	2	1	3	5	3	6	8	1	5	5	44
	$R^2_{aj.}$	7	6	4	5	6	4	9	9	6	6	6	68
3	Sys%	6	4	6	4	6	6	6	7	8	6	6	65
	$R^2_{aj.}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
4	Sys%	4	5	4	1	3	4	8	9	9	1	4	52
	$R^2_{aj.}$	3	2	2	2	3	5	3	8	9	2	4	43
5	Sys%	3	3	2	5	2	1	3	2	3	3	2	29
	$R^2_{aj.}$	6	7	5	6	4	2	7	3	2	4	3	49
6	Sys%	1	1	3	6	4	2	1	1	5	4	1	29
	$R^2_{aj.}$	4	4	6	4	5	3	5	2	4	5	2	44
7	Sys%	8	7	7	8	7	8	4	4	2	7	8	70
	$R^2_{aj.}$	9	8	8	9	8	8	8	5	3	8	9	83
8	Sys%	9	9	8	9	9	9	9	5	4	8	9	88
	$R^2_{aj.}$	5	5	7	7	7	9	4	6	8	7	7	72
9	Sys%	2	6	5	2	1	5	5	3	7	2	3	41
	$R^2_{aj.}$	2	3	3	3	2	6	2	4	7	3	5	40

Tabela 5: *Ranking* das equações de volume com casca, testadas quanto ao $Syx\%$ e ao R^2 ajustado.

Outro aspecto a considerar se refere aos modelos de simples entrada, tais como os de número 1, 7 e 8. Para os tratamentos mais novos e sem desbaste, tanto os $R^2_{aj.}$ como os $Syx\%$ estão entre os piores. No entanto, à medida em que os povoamentos

vão se tornando mais velhos e, por conseguinte, sendo submetidos a desbastes sucessivos, os $R^2_{aj.}$ para essas três equações permanecem pouco alterados, enquanto que seus $Syx\%$ vão se reduzindo sensivelmente. Portanto, as equações cuja variável independente é apenas o DAP vão se tornando mais precisas, como se pode observar pelos resultados expostos nas Tabelas 3 e 7. Este fato pode ser explicado pela menor variabilidade relativa dos diâmetros e principalmente das alturas, causada artificialmente pelos desbastes, tornando os povoamentos mais homogêneos à medida em que vão sofrendo desbastes seletivos.

Equações	Estatística	Tratamentos											Total
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	L	
1	Sys%	8	8	8	7	9	6	1	3	4	5	8	67
	$R^2_{aj.}$	9	9	9	8	8	7	4	3	5	8	8	78
2	Sys%	5	4	3	2	4	3	8	8	7	3	5	52
	$R^2_{aj.}$	6	6	6	5	3	6	9	9	9	7	6	72
3	Sys%	6	6	6	6	1	8	7	7	9	8	4	68
	$R^2_{aj.}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
4	Sys%	4	5	2	3	3	4	9	9	8	6	6	59
	$R^2_{aj.}$	3	3	3	2	6	3	8	8	8	3	5	52
5	Sys%	3	2	4	5	2	1	3	4	1	2	2	29
	$R^2_{aj.}$	5	5	7	6	2	2	6	5	2	6	4	50
6	Sys%	2	1	1	1	6	2	2	1	2	1	1	20
	$R^2_{aj.}$	4	4	4	4	4	5	5	2	3	5	2	42
7	Sys%	7	7	7	8	7	7	4	2	3	7	7	66
	$R^2_{aj.}$	8	8	8	9	7	8	7	4	4	9	9	81
8	Sys%	9	9	9	9	8	9	6	6	5	9	9	88
	$R^2_{aj.}$	7	7	5	7	9	9	3	6	7	4	7	71
9	Sys%	1	3	5	4	5	5	5	5	6	4	3	46
	$R^2_{aj.}$	2	2	2	3	5	4	2	7	6	2	3	38

Tabela 6: *Ranking* das equações de volume sem casca, testadas quanto ao $Syx\%$ e ao R^2 ajustado.

3.2 Análise de resíduos

Nenhuma equação estimativa deve ser usada antes de se proceder a uma análise gráfica de resíduos, mesmo que os índices de ajuste (R^2) e de precisão (Syx) sejam julgados satisfatórios (DRAPER & SMITH, 1966). Essa análise, embora visual, é que realmente vai indicar se a estimativa é boa ao longo de toda a linha de regressão, se não há tendências em nenhum de seus segmentos e se a equação utilizada para as estimativas é realmente apropriada para tal fim.

Por isto, foram feitos gráficos de análises de resíduos para todos as nove equações ajustadas para cada um dos onze tratamentos.

Após a seleção dos três melhores modelos, para estimativa de volumes com e sem casca, procedeu-se à análise gráfica de resíduos para os mesmos. Como o modelo

9 (Schumacher-Hall) é reconhecido pela sua eficiência na estimativa de volumes e, no *ranking*, apresentou-se na quarta colocação, resolveu-se também analisar seu comportamento quanto aos resíduos.

Observando-se os gráficos de resíduos para as diferentes equações nos diferentes tratamentos, para esses quatro modelos, com e sem casca, de um modo geral, a análise mostrou a inexistência de tendenciosidade para os modelos testados, como, por exemplo, mostra a Figura 1 para o modelo 3, com casca.

As Figuras 1 e 2 mostram as distribuições gráficas de resíduos, respectivamente para a equação 3 (Modelo de Spurr) e para a equação 6 (Modelo de Meyer). Observe-se que a equação de Spurr foi a melhor pontuada quanto ao R^2 e, a de Meyer, quanto ao Syx%.

A Figura 1 mostra que a distribuição gráfica dos resíduos resultantes da equação de Spurr (3) foi boa para a maior parte dos casos, exceto para os tratamentos B (7 anos, sem desbaste), C (5 anos, sem desbaste) e J (6 anos, sem desbaste), portanto, para os tratamentos mais novos.

Principalmente nesses tratamentos, é nitidamente visível que a equação 3 proporcionou tendenciosidades nas estimativas dos volumes das menores árvores. Possivelmente a ausência do termo b_0 nessa equação tenha sido responsável por essa tendenciosidade. Portanto, essa equação deve ser rejeitada para uso, embora tenha apresentado estatísticas de ajuste (R^2) e de precisão (Syx%) satisfatórias.

A Figura 2, correspondente à análise gráfica para a equação de Meyer (6), com casca, mostra boa distribuição dos resíduos para todos os tratamentos. Portanto, essa equação pode ser usada para estimativas de volume para todos os tratamentos, uma vez que está livre de tendenciosidades ao longo de toda a linha de regressão. Deve-se, ainda, destacar que a equação de Schumacher-Hall (9), embora não tenha obtido a melhor pontuação tanto com relação ao R^2 aj. quanto ao Syx%, apresentou ótima distribuição gráfica dos resíduos. Este fato a caracteriza como um modelo também indicado para uso como equação de volume para todos os tratamentos da presente pesquisa.

4 Conclusões

- Através do ranqueamento dos modelos tradicionais ajustados separadamente para cada um dos tratamentos e da análise de resíduos para os mesmos, com e sem casca, concluiu-se, com base nos dados usados, que o modelo 6 (Meyer) apresentou, em média, o melhor desempenho para estimar o volume total com e sem casca.
- Observando-se o *ranking* dos modelos, verificou-se que o modelo 3 (Spurr) apresentou os melhores ajustes (R^2 aj.) para todos os tratamentos, com e sem casca, mesmo assim, não foi o melhor no total, quando computado também o Syx%.
- Analisando-se os resultados, conclui-se que os tratamentos (idade e número de desbastes) tiveram influência sobre os valores das estatísticas de ajuste (R^2 aj.) e de precisão (Syx%).

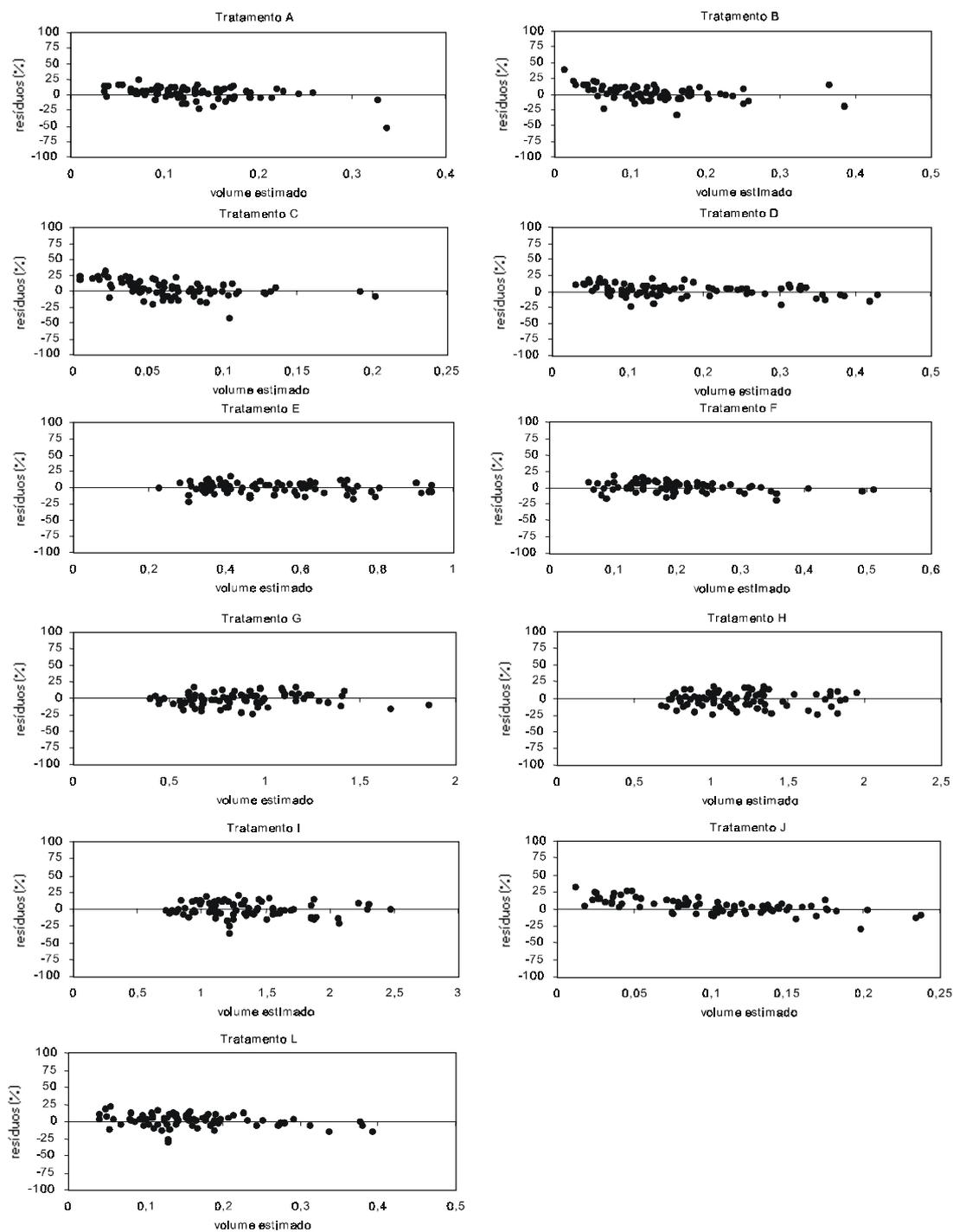


Figura 1. Gráfico de dispersão dos resíduos (em %) em função dos volumes estimados pela Equação 3 (Spurr), com casca.

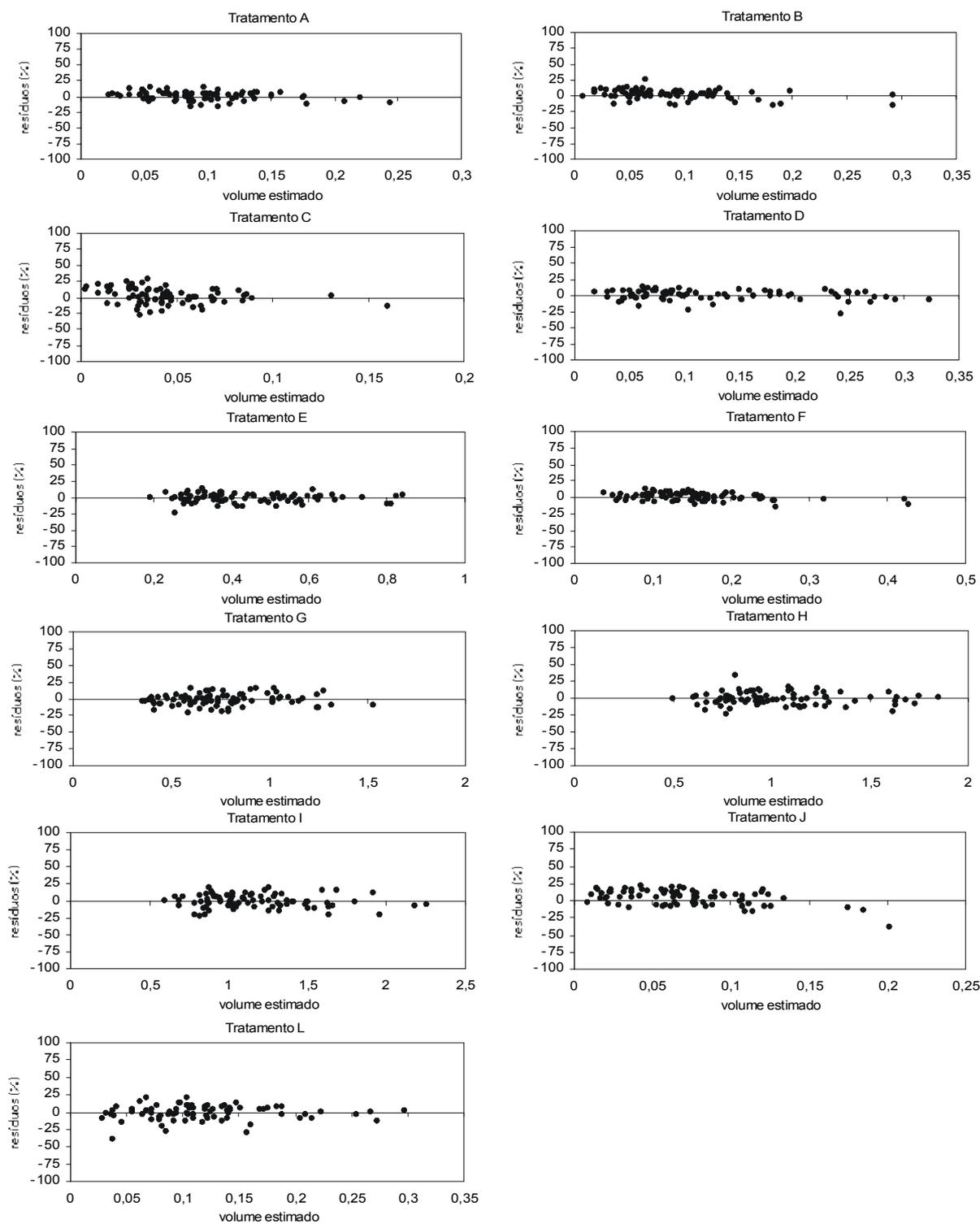


Figura 2. Gráficos de dispersão dos resíduos (em %) em função dos volumes estimados pela Equação 6 (Meyer), com casca.

- Os tratamentos B, C e J apresentaram os piores ajustes, pois, apesar de apresentarem valores de R^2_{aj} elevados para os ajustes com e sem casca, confirmando a alta correlação entre a variável dependente e as variáveis independentes, apresentaram valores de Syx% mais elevados que os valores obtidos pelos demais tratamentos. Este fato pode ser explicado por esses tratamentos serem mais novos (7, 5 e 6 anos) e não terem sofrido desbastes, havendo uma alta dispersão da base de dados de DAP e altura.
- O ajuste feito para o tratamento F (2 desbastes, 10 anos) possui os melhores valores de Syx%, tendo em vista que a base de dados já está mais homogeneizada.
- Nos tratamentos com número de desbastes superior a 2, observa-se queda da precisão com relação ao tratamento F; mesmo assim, os valores de Syx% são aceitáveis.

Referências

- BARTOSZECK, A. C. P. S. *Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em bracingais nativos da região metropolitana de Curitiba*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2000. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal).
- DRAPER, N.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1966.
- DRESS, P. E. *Statistical and mathematic application in the construction and adjustment of standart cubic-foot volume tables*. Scholl of Forestry, Pennsylvania State University, 1959. (Tese de Mestrado).
- GOLDING, D. L. and HALL, O. F. A Test of precision of cubic-foot tree volume equation on Aspen, Jack Pine and White Spruce. *For. Chron.*, v. 37, n. 2, p. 123-132. 1961.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. *Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil*. Belo Horizonte: Centro de Pesquisa Florestal da Região do Cerrado, 1978.
- PAULA NETO, F. de. Tabela volumétrica com e sem casca para *Eucalyptus saligna*. Viçosa. *Rev. Árvore. SIF*, v. 1, n. 1, p. 31-53. 1977.
- SIQUEIRA, J. P. D. *Tabelas de volume para povoamentos nativos de Araucária angustifolia (Bert) O, Ktze, no sul do Brasil*. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. 1977. (Tese de Mestrado).
- VEIGA, J. A. A. Comparações de equações de volume para *Eucalyptus saligna* Smith I - Equações aritméticas não formais. Curitiba, *Revista Floresta*, v. 4, n. 1, p. 81-94. 1972.