

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
ISSN (on line): 1981-0997
v.6, n.4, p.675-684, out.-dez., 2011
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br
DOI:10.5039/agraria.v6i4a1039
Protocolo 1039 - 20/07/2010 *Aprovado em 15/06/2011

Raphael G. Hoffmann¹

Gilson F. da Silva^{2,6}

José Franklim Chichorro²

Rinaldo L. C. Ferreira^{3,6}

Larissa B. Vescovi⁴

Luciano Z. Zaneti⁵

Caracterização dendrométrica de plantios de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as principais características dendrométricas como o diâmetro, a altura e a forma e avaliar modelos para estimar o volume total de árvores de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) em plantios comerciais com idades de cinco, seis e sete anos, em espaçamento 4 x 4 m, na região de Paragominas, PA. A seleção dos modelos tomou como base medidas de qualidade de ajuste, como R², erro padrão das estimativas, bem como a análise gráfica dos resíduos. Em relação às características dendrométricas, os resultados obtidos mostraram que o paricá apresentou medidas dendrométricas semelhantes quando comparado ao eucalipto em condições parecidas. A paricá teve um crescimento tanto em diâmetro quanto em altura semelhante a espécies de rápido crescimento. Quanto às equações de volume total, de modo geral, o modelo de Schumacher & Hall apresentou estimativas mais precisas na estimação do volume das árvores.

Palavras-chave: Biometria florestal, crescimento, volume.

Dendrometric characterization in *paricá* plantations (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) in the region of Paragominas, Pará, Brazil

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the main dendrometric characteristics of *paricá* (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), such as diameter, height and form, and also test models to estimate the total volume of *paricá* trees in commercial plantations with five, six and seven years of age, in a 4 m x 4 m spacing, in the region of Paragominas, Pará, Brazil. The models selection was based on goodness-of-fit indicators, such as R², standard error of estimates, as well as the residual graphical analysis. Regarding the dendrometric characteristics, results showed that the *paricá* trees presented similar dendrometric measures when compared to eucalyptus in similar conditions. The *paricá* had a similar growth in both diameter and height to fast-growth species. As for the equations of total volume, generally, Schumacher & Hall's model showed the best results to estimate the individual tree volume.

Key words: Forest biometrics, growth, volume.

¹ Prefeitura Municipal de Vitória, Rua Vitória Nunes da Motta, 220, Ed. CIAC, Sala 601, Enseada do Suá, CEP 29050-915, Vitória-ES, Brasil. Fone: (27) 3382-5366. E-mail: rghoffmann83@yahoo.com.br

² Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Florestal, Av. Governador Lindemberg, 316, Centro, CEP 29550-000, Jerônimo Monteiro-ES, Brasil. Fone: (28) 3558-1261. Fax: (28) 3558-1565. E-mail: gilson.silva@pq.cnpq.br; jfufes@gmail.com

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900, Recife-PE, Brasil. Fone: (81) 3320-6289. Fax: (81) 3320-6291. E-mail: rinaldo@dcfl.ufrpe.br

⁴ Pra Terra Serviços e Locação Ltda, Rua Alegria, 358, Centro, CEP 29190-230, Aracruz-ES, Brasil. Fone: (27) 3256-1209. E-mail: lbvescovi@gmail.com

⁵ Companhia Vale do Rio Doce, Vale Florestal, Centro de Pesquisa do Paricá (CPP), BR 010, km 16, Zona Rural, CEP 68633-000, Dom Eliseu-PA, Brasil. Fone: (94) 3335-9018. E-mail: lucianozaneti@yahoo.com.br

⁶ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

As florestas naturais no Brasil têm sido, desde o descobrimento, a principal fonte de madeira para atender as demandas internas do país e de outros países que importam matéria-prima e produtos relacionados. No entanto, a capacidade de suprir as demandas atuais e futuras vem diminuindo ao longo do tempo, haja vista a exploração predatória destas florestas. Atualmente, a aplicação de uma legislação ambiental mais rigorosa para a exploração das florestas naturais tem equilibrado as relações entre a oferta e a demanda por madeira, diminuindo a exploração indiscriminada destes remanescentes florestais naturais. Neste sentido, Silva (2008) apresenta uma ampla discussão sobre o marco legal ligado à produção de madeira no Brasil, destacando o papel da legislação na produção florestal e na definição de parâmetros técnicos para a produção de madeira via plano de manejo na Amazônia Legal.

Por outro lado, nas últimas décadas houve um crescente investimento em plantios homogêneos ou consorciados de espécies florestais de rápido crescimento e de alto valor comercial, que se tornaram alternativas para as empresas do setor, face ao atual momento de inviabilidade na extração da madeira de matas nativas. Estes empreendedores têm utilizado, principalmente, espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, por existir vasto conhecimento sobre seus atributos qualitativos e quantitativos. Contudo, mais recentemente tem ocorrido um esforço para encontrar espécies nativas que produzam madeira de qualidade e em grande quantidade, em substituição às espécies dos gêneros citados.

As áreas de plantio com espécies da flora brasileira representam pouco mais que 3% do total de florestas plantadas no país (ABRAF, 2009). Na região amazônica, um exemplo de espécie nativa plantada para a produção de madeira em escala comercial, que vem se destacado nos últimos anos, é o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). De acordo com Costa et al. (1998), o paricá tem crescimento muito rápido e idades de corte dos povoamentos homogêneos variando entre cinco e nove anos. Sua madeira é considerada leve ($0,30 \text{ g cm}^{-3}$), possui cor branca e é utilizada para a produção de forros, palito, maquetes, embalagens leves, canoas, miolo de painéis e portas, brinquedos, caixotaria leve, laminados e compensados. Produz ainda celulose de boa qualidade e de fácil branqueamento, o que permite a fabricação de papel branqueado com excelente resistência.

Marques et al. (2006) relatam que a pesquisa e o desenvolvimento da silvicultura do paricá vêm desde a década de 50, contudo, somente na década de 90 a espécie passou a ter representatividade empresarial, principalmente na produção de compensados e laminados na região amazônica. Porém, o grande problema encontrado pelas empresas da região ainda está na carência de pesquisas científicas voltadas à espécie.

O conhecimento das características dendrométricas inerentes às espécies utilizadas em plantios comerciais facilita tanto no planejamento da produção quanto na comercialização do produto gerado (Scolforo, 1993; Campos, 2006). Neste contexto, pode-se proceder a realização de procedimentos de inventário florestal que visem a utilização de equações de

volume para árvores individuais, com a finalidade de tornar a atividade de coleta de dados mais operacional. De acordo com Couto & Bastos (1989), o método da equação de volume (método estimativo) é o mais preciso dos métodos de estimação do volume de árvores em pé, contrapondo-se aos métodos do volume do cilindro e o da área basal. De acordo com estes autores, a vantagem mais relevante das equações de volume é o cálculo do volume sólido, árvore a árvore, por meio de modelos estatísticos, especialmente testados para apresentar os menores erros.

Para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, vários modelos estatísticos já foram testados e são correntemente empregados pelas empresas florestais do país. Por outro lado, há espécies em que os modelos testados e publicados em literatura especializada são comparativamente em número bem menor, como é o caso do paricá. Assim, considerando-se o exposto, este estudo teve como objetivo avaliar características dendrométricas do paricá, como o diâmetro, a altura e a forma das árvores, e avaliar o uso de modelos volumétricos aplicados ao paricá em diferentes idades.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados para este estudo foram coletados em povoamentos homogêneos de *Schizolobium amazonicum*, situados entre os municípios de Dom Eliseu e Paragominas, Estado do Pará, pertencentes ao Grupo Concrem, com idades de cinco, seis e sete anos, e cujas árvores foram plantadas em espaçamento de 4 x 4 metros.

Para a obtenção dos dados, foram lançadas parcelas de 1040 m^2 (52 m x 20 m), uma para cada idade. Em cada parcela, todas as árvores foram abatidas e avaliadas, o que resultou em 62 árvores para a idade de cinco anos, 57 árvores para as idades de seis anos e 61 árvores para a idade de sete anos, totalizando 180 árvores-amostra, abrangendo todas as classes de diâmetro (Tabela 1). A diferença no número de árvores amostradas em cada idade se deu por conta das diferenças de sobrevivência em cada parcela. Em cada árvore-amostra mediu-se o diâmetro a 1,30 metros de altura (DAP), mínimo de 5 cm, empregando-se uma suta, e a altura total da árvore (H), empregando-se uma trena. Na Tabela 1 é apresentada a distribuição de frequência das 180 árvores-amostra utilizadas.

Na cubagem rigorosa, devido à maior parte do volume das árvores se concentrar na região basal, e, ainda, considerando-se que as maiores variações na forma do tronco se encontram na sua base, fez-se maior número de medições nessa região, visando aumentar a exatidão na medida do volume. Assim, foram feitas medições sucessivas dos diâmetros nas alturas de 0; 0,5; 1,0; e 1,3 m. A partir dos 1,3 m, as medições sucessivas dos diâmetros e das espessuras de casca foram feitas em intervalos de 1 metro. Os volumes foram obtidos por meio da fórmula de Smalian, conforme Husch et. al. (1993).

A partir da amostra foram calculadas as seguintes variáveis dendrométricas para o paricá nas diferentes idades: diâmetros médios aritméticos e quadráticos (diâmetro da árvore de área basal média, conforme Mello et al., 2005), diâmetros máximos e mínimos, alturas médias aritméticas e de Lorey (Scolforo &

Tabela 1. Distribuição de frequência das árvores-amostra por idade e classes de diâmetro em plantios de paricá situados na região de Paragominas, PA**Table 1.** Frequency distribution of the sample-trees by age and diameter classes in paricá plantations in the region of Paragominas, Pará, Brazil

Idade (anos)	Classes de diâmetro (cm)										Total
	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	
5	-	5	8	9	15	17	7	1	-	-	62
6	-	5	5	8	11	10	8	6	2	2	57
7	1	5	5	5	8	10	11	9	4	3	61
Total	1	15	18	22	34	37	26	16	6	5	180

Figueiredo Filho, 1998; Imaña-Encinas, 2002), alturas máximas e mínimas, fator de forma artificial (Finger, 1992; Prodan et al., 1997), tomando-se com base para o cálculo da área do cilindro o *DAP*.

Estas variáveis dendrométricas calculadas para o paricá foram comparadas com as de outras espécies nativas, e especialmente com as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, no sentido de se avaliar, dentro do possível, o seu grau de desenvolvimento e inferir acerca do seu potencial de aproveitamento da madeira, tendo em vista as idades consideradas.

Considerando-se as espécies florestais tradicionalmente produzidas em plantios, principalmente os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, podem-se encontrar na literatura vários modelos volumétricos (Loetsch et al., 1973) que foram utilizados para estas espécies. Para o paricá, Tonini et al. (2005a) e Silva et al. (2008) testaram alguns modelos e obtiveram resultados satisfatórios para a espécie. Assim, os modelos propostos para teste neste estudo foram:

1. $V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} \varepsilon$;
2. $V = \beta_0 D^{\beta_1} \varepsilon$;
3. $V = \beta_0 (D^2 H)^{\beta_1} \varepsilon$
4. $V = D^2 (\beta_0 + \beta_1 H) \varepsilon$
5. $V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \varepsilon$
6. $V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + \varepsilon$
7. $V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
8. $V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 DH + \beta_4 D^2 H + \varepsilon$

em que V = volume total da árvore; b_0 , b_1 , b_2 , b_3 e b_4 = parâmetros do modelo; D = *DAP* = diâmetro com casca medido a 1,30 m do solo; H = altura total da árvore; ε = erro aleatório.

A seleção dos modelos volumétricos mais precisos foi feita com base em testes de validação que levam em consideração as medidas de qualidade de ajuste das equações, a saber: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2), erro-padrão absoluto ($S_{y,x}$), em metros cúbicos (m^3), erro padrão relativo ($S_{y,x} \%$) e a análise gráfica dos resíduos.

Considerando-se as diversas possibilidades de cálculo para a estatística R^2 , tal como apresentado em Kvalseth (1985), e nos cuidados que se deve ter ao se empregar esta estatística para comparar equações de modelos com naturezas diferentes, adotou-se neste trabalho uma expressão de cálculo sugerida por este mesmo autor, tendo em vista as características dos

modelos comparados neste trabalho, a saber:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}; \quad \bar{R}^2 = 1 - a(1 - R^2); \quad a = \frac{n-1}{n-p-1}$$

em que: Y_i = i-ésimo valor observado para a variável dependente Y , no caso deste estudo o volume total; \hat{Y}_i = i-ésimo valor estimado para a variável dependente Y ; \bar{Y} = média dos valores observados para a variável dependente Y ; $n - 1$ = graus de liberdade do total na análise de variância da regressão; $n - p - 1$ = graus de liberdade do resíduo na análise de variância da regressão.

Os gráficos para avaliação dos resíduos tiveram como variável independente o *DAP* e como variável dependente os erros percentuais das estimativas dos volumes, obtidos pela expressão: $e(\%) = \left(\frac{X_{obs} - X_{est}}{X_{obs}} \right)$, em que: $e(\%)$ = resíduo da

regressão, em percentagem; X_{obs} = volume observado; X_{est} = volume estimado. Foi calculada também a estatística t para os parâmetros das equações ajustadas, a 5% de probabilidade, com o objetivo de verificar a significância destes parâmetros.

Considerando-se que os modelos propostos foram ajustados para as idades de cinco, seis e sete anos e, considerando-se também que a idade é uma das variáveis que pode afetar o desempenho destas relações, tornou-se necessário verificar se a idade estaria afetando as relações entre o diâmetro e a altura, tendo em vista os oito modelos de volume total.

Para verificar esta hipótese, assumiu-se que se diferentes modelos fossem escolhidos como os mais precisos nas diferentes idades, isso indicaria que a idade estaria afetando essas relações, pois para cada idade seria necessário um modelo diferente. Por outro lado, se um único modelo fosse escolhido para todas as idades, ainda assim não se poderia dizer que a idade não afeta essas relações.

Assim, as equações ajustadas poderiam ter estimativas dos parâmetros estatisticamente diferentes, evidenciando o efeito da idade. Nesse caso, é necessário aplicar um teste estatístico para avaliar as hipóteses de que as equações referentes a um mesmo modelo são (H_0) ou não (H_a) estatisticamente iguais a 5% de probabilidade. Se forem iguais, é possível inferir que a idade das árvores não afeta a relação entre o diâmetro e a altura.

Assim, na hipótese da escolha de um mesmo modelo linear, selecionado em todas as idades, foi utilizado o teste de Chow, citado por Greene (1997), cuja estatística é a seguinte:

$$F_c = \frac{[SQRes^* - (SQRes_1 + SQRes_2)] / P}{(SQRes_1 + SQRes_2) / (n_1 + n_2 - 2P)}$$

em que: F_c = Valor de F calculado; $SQRes^*$ = soma de quadrados do resíduo para a equação considerando os dados das situações 1 e 2 a serem comparadas ($n_1 + n_2$); $SQRes_1$ = soma de quadrados do resíduo para a equação estimada apenas com os dados da situação 1 (n_1); $SQRes_2$ = soma de quadrados do resíduo para a equação estimada apenas com os dados da situação 2 (n_2); P = número de parâmetros; $n_1 + n_2$ = número de observações.

A não rejeição da hipótese H_0 a 5% de probabilidade para o teste de Chow leva a concluir que as equações ajustadas para as diferentes idades são iguais, podendo-se, portanto, empregar uma única equação que represente todas as idades. Conclusão em contrário ocorreria se fosse rejeitada a H_0 , ou seja, seria necessária uma equação para cada idade.

Se um mesmo modelo não linear fosse selecionado em todas as idades, seria utilizado o teste apresentado por Regazzi (2003), no qual a identidade entre modelos não lineares pode ser testada pela estatística qui-quadrado:

$$\chi^2_{calculado} = -nLn\left(\frac{SQR_{\Omega}}{SQR_{\omega}}\right)$$

em que: $\chi^2_{calculado}$ = qui-quadrado calculado; SQR_{Ω} = soma de quadrados do resíduo do modelo completo; SQR_{ω} = soma de quadrados do resíduo do modelo reduzido; n = número total de dados; Ln = logaritmo neperiano.

No caso deste trabalho, as hipóteses testadas pela estatística qui-quadrado, a 5% de probabilidade, foram as seguintes:

- H_0 : $a_1 = \dots = a_g (= a)$; $b_1 = \dots = b_g (= b)$; $c_1 = \dots = c_g (= c)$; $d_1 = \dots = d_g (= d)$.

- H_a : pelos menos uma igualdade é uma desigualdade.

Tal que, a_i , b_i e c_i correspondem, respectivamente, aos parâmetros \hat{a}_0 , \hat{a}_1 e \hat{a}_2 dos modelos 1, 2, 3 e 4, para i variando de 1 até 3 (ou seja, g igual a três grupos de idades).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das variáveis dendrométricas calculadas apresentadas na Tabela 2, foi possível fazer um comparativo entre estas com as de outras espécies no sentido de se avaliar o potencial de aproveitamento da madeira do paricá, face ao que a literatura apresenta. Os resultados encontrados em diferentes regiões do Brasil, com espaçamentos variados e diferentes espécies, estão apresentados na Tabela 3.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3 foi possível observar que no trabalho de Rondon (2002) as médias de DAP e H na idade de cinco anos foram semelhantes às encontradas neste estudo, ressaltando-se que seus resultados

foram obtidos no estado do Mato Grosso. Isso reforça a ideia de se estudarem as características dendrométricas das espécies não tradicionais para a produção em escala, como o paricá, para evidenciar suas potencialidades em diferentes locais e, assim, comprovar sua utilização no mercado florestal.

Tonini et al. (2006), em um estudo realizado no estado de Roraima, encontraram resultados ligeiramente inferiores para o paricá na idade de sete anos, embora o espaçamento não fosse exatamente igual, o que reforça a importância de se realizar este tipo de estudo comparativo para efeitos de conhecimento do desempenho da espécie em diferentes locais e, ainda, em regimes diferentes de manejo. Vale salientar que os resultados encontrados pelos autores evidenciam que a espécie possui características típicas de rápido crescimento, sendo este fato importante por identificar o potencial de sua utilização.

É importante ressaltar também que, em se tratando de espécies potencialmente aptas para plantios florestais, como é o caso dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, há uma gama de trabalhos científicos enfatizando as características dendrométricas dessas espécies, transformando-os nos mais utilizados pelos produtores. Comparar suas características dendrométricas com as do paricá pode ser um indicador do potencial que esta espécie pode apresentar para a utilização pelos produtores.

Assim, pela observação da Tabela 3, nota-se que o paricá possui potencial de crescimento quando comparado, por exemplo, aos resultados encontrados por Leite et al. (1997) para eucalipto. Admitindo-se que o eucalipto seja uma espécie já muito estudada e que se encontra em um estágio tecnológico de produção já bem avançado, crescer de forma semelhante a essa espécie pode ser considerado um indicador positivo.

Por outro lado, esta comparação deve ser feita com ressalvas uma vez que as condições de crescimento que envolvem a comparação proposta provavelmente são diferentes e, portanto, sem o rigor científico que permitiria uma afirmação com maior nível de confiança. Além disso, não foi

Tabela 2. Características dendrométricas avaliadas em plantios de paricá situados na região de Paragominas, PA, em diferentes idades

Table 2. Dendrometric characteristics evaluated in paricá plantations at different ages, in the region of Paragominas, Pará, Brazil

	Total		5 Anos		6 Anos		7 Anos	
	DAP	H	DAP	H	DAP	H	DAP	H
\bar{x}	20,16	22,00	19,15	21,15	20,07	21,78	21,28	23,06
Min	11,65	5,89	12,86	5,89	12,06	12,62	11,65	15,00
Máx	29,90	28,90	24,73	28,90	28,97	26,98	29,90	28,20
D_0	20,53		19,35		20,75		21,70	
H_L	22,94		21,78		22,80		23,99	
$\bar{f}_{1,3}$	0,48		0,46		0,44		0,49	
$f_{1,3 Min}$	0,33		0,35		0,33		0,48	
$f_{1,3 Máx}$	0,89		0,89		0,88		0,68	

\bar{x} = média aritmética; Min e Máx = DAP (cm) e H (m) mínimos e máximos; D_0 = diâmetro quadrático (cm); H_L = altura média de Lorey (m); $\bar{f}_{1,3}$ = fator de forma artificial médio.

Tabela 3. Valores máximos, mínimos e médios de DAP e H avaliados em plantios brasileiros, em diferentes idades e espaçamentos**Table 3.** Maximum, minimum and mean values of DBH and H evaluated in Brazilian plantations, at different ages and spacings

Autor/Estado	Espécies	Idade (anos)	Espaçamento (m)	DAP (cm)			H (m)			
				Mínimo	Médio	Máximo	Mínima	Média	Máxima	
Rondon (2002)/MT	Paricá	5	4 x 4	-	19,5	-	-	20,0	-	
		5	4 x 3	-	17,4	-	-	21,5	-	
		7	2,5 x 2	-	10,5	-	-	9,2	-	
Tonini et al. (2005b)/RO	Castanha-do-brasil	7	2,5 x 2	-	13,5	-	-	11,3	-	
		7	2,5 x 2	-	10,7	-	-	8,3	-	
		7	2,5 x 2	-	8,6	-	-	6,0	-	
Leite et al.(1997)/MG	<i>Eucalyptus grandis</i>	2,6	4 x 4	-	13,0	-	-	15,2	-	
		3,3	4 x 4	-	14,9	-	-	19,0	-	
Gonçalves et. al. (1990)/SP	<i>E. grandis</i>	5-7	3 x 1,5	9,0	12,6	14,3	13,7	20,9	23,5	
		<i>E. saligna</i>	5-7	3 x 1,5	10,9	12,9	11,9	17,8	20,3	19,3
			7	3 x 2	-	20,0	-	-	20,5	-
Vieira et. al. (2007)/RO	<i>P. caribea x hondurensis</i>	7	3 x 2	-	13,3	-	-	13,9	-	
		7	3 x 4	-	12,2	-	-	24,0	-	
		7	3 x 4	-	20,2	-	-	22,6	-	
Tonini et. al. (2006)/RR	Paricá	7	4 x 3	16,4	17,6	18,9	16,5	18,5	20,8	
		6	3 x 2	8,4	11,3	15,3	14,4	18,0	22,8	
		6	4 x 3	-	7,7	-	-	5,4	-	
Machado et al. (2005)/SP	<i>Pinus oocarpa</i>	5	2 x 2	4,4	17,5	20,4	5,2	9,6	12,7	
		6	2 x 2	6,1	13,6	20,3	8,2	12,6	16,3	
		7	2 x 2	6,3	14,7	24,1	7,9	13,7	17,8	

feita nenhuma comparação com relação ao volume, variável esta muito importante como medida de crescimento.

Mesmo assim, os resultados sugerem que o paricá pode ser uma espécie com potencial para produzir madeira em níveis semelhantes aos alcançados por espécies tradicionais, uma vez que há um crescimento dessa espécie em diâmetro e altura semelhante a espécies de rápido crescimento que passaram por processos de melhoramento genético e desenvolvimento silvicultural, como é o caso do eucalipto. Da mesma forma, o paricá apresentou um fator de forma semelhante ao do eucalipto, esperando-se, então, que esta espécie também tenha uma produção volumétrica semelhante. Cabe considerar também como fato positivo que o paricá é ainda uma espécie com baixo desenvolvimento tecnológico, podendo-se projetar, assim, ganhos significativos no aumento do crescimento dessa espécie.

Os resultados encontrados no trabalho de Gonçalves et al. (1990) mostraram que o eucalipto pode apresentar menor crescimento quando o espaçamento é reduzido, porém evidenciam que em termos de diâmetro, o paricá pode apresentar maior potencial de crescimento. Já no trabalho de Vieira et al. (2007) na região amazônica, os resultados

encontrados para o eucalipto em espaçamento reduzido mostram potencial de utilização da espécie quando comparado ao paricá, podendo também ser uma alternativa de uso para produção florestal.

Em relação às espécies nativas, no trabalho de Tonini et al. (2005b) realizado em Rondônia, foi observado que mesmo em espaçamento reduzido, as espécies estudadas apresentaram baixo potencial quando comparadas com eucalipto e até mesmo com paricá. Já no trabalho de Vieira et al. (2007) na mesma região, os resultados encontrados são bem parecidos com os do paricá, revelando a existência de outras espécies nativas com potencial de produção.

Para o gênero *Pinus*, os trabalhos de Machado et al. (2005) na região sudeste, e Vieira et al. (2007) na região amazônica, mostraram resultados inferiores quando comparados aos resultados obtidos com o paricá. Isso se deve ao fato de que as características de crescimento diferenciado das espécies deste gênero são sabidamente conhecidas. Este fato potencializa ainda mais a utilização do paricá, principalmente para a produção de lâminas para compensado, que é um dos principais usos dados à madeira de *Pinus* no País.

Em relação ao fator de forma, Scolforo & Figueiredo Filho (1998) apresentam fatores de forma médios para *Pinus* spp, *Eucalyptus* spp e espécies de floresta natural. Os autores observaram que espécies do gênero *Eucalyptus* tendem a ser mais cônicas que as do gênero *Pinus*, que por sua vez tendem a ser mais cônicas que espécies de floresta natural. Os fatores de forma médios encontrados foram: para *Eucalyptus*, 0,43, para *Pinus*, 0,48 e, para as espécies nativas, 0,78.

Em relação aos trabalhos apresentados na Tabela 3, para o paricá, Tonini et al. (2006) encontraram fator de forma médio de 0,44 e, para os clones de eucalipto, média de 0,43. Tonini et al. (2005b) encontraram fator de forma de 0,50 para andiroba, 0,48 para castanha-do-brasil, 0,44 para ipê-roxo e 0,38 para jatobá. No caso deste trabalho, o fator de forma encontrado para o paricá considerando-se as três idades avaliadas (cinco, seis e sete anos) foi de 0,48, podendo-se afirmar, com os devidos cuidados, dada a falta de um modelo experimental, que ele é semelhante aos resultados encontrados para

espécies tradicionais como o eucalipto.

De maneira geral, as equações ajustadas para os oito modelos avaliados (Tabela 4) apresentaram desempenho semelhante nas diferentes idades em termos de precisão, com ligeiras diferenças em favor de um ou de outro modelo.

É importante notar que nas idades de cinco e sete anos, o modelo oito teve os seus parâmetros estimados considerados não significativos, tomando-se como base o teste *t* em nível de 5% de probabilidade, mesmo apresentando elevado.

Isto pode ocorrer em casos em que há alta correlação entre as variáveis independentes do modelo, que é o caso deste modelo, fazendo com que o determinante da matriz ($X'X$) seja bem próximo de zero, inflacionando a variância dos parâmetros estimados, e comprometendo, assim, a sensibilidade do teste *t* em detectar a significância dos parâmetros. Neste caso, poderia se afirmar então que o modelo oito não está bem especificado e que alguma variável poderia ser eliminada.

Tabela 4. Equações de volume total ajustadas para plantios de paricá em diferentes idades situados na região de Paragominas, PA, e suas respectivas medidas de precisão

Table 4. Total volume equations adjusted for paricá plantations at different ages in the region of Paragominas, Pará, Brazil, and their respective accuracy measurements

Idade (Anos)	Equação	$S_{y,x}(m^3)$	$S_{y,x}(\%)$	\bar{R}^2
5	1. $\hat{V} = 0,000079 * D^{2,036925} * H^{0,709241}$ *	0,02470	8,16	94,42
	2. $\hat{V} = 0,000214 * D^{2,435371}$ *	0,03206	10,59	90,60
	3. $\hat{V} = 0,000062 * (D^2H)^{0,940202}$ *	0,02529	8,35	94,15
	4. $\hat{V} = D^2(0,000194 * + 0,000027 * H)$			
	5. $\hat{V} = -0,06512 * + 0,000958 D^2$	0,03126	10,32	91,06
	6. $\hat{V} = 0,016728^{ns} + 0,000034 * D^2H$	0,02516	8,31	94,21
	7. $\hat{V} = 0,266618^{ns} - 0,022015^{ns} D + 0,00037^{ns} D^2$	0,03111	10,27	91,15
	8. $\hat{V} = -0,078265^{ns} + 0,009229^{ns} D - 0,000043^{ns} D^2 - 0,000075^{ns} DH + 0,00003^{ns} D^2H$	0,02533	8,36	94,23
6	1. $\hat{V} = 0,000047 * D^{1,807919} * H^{1,092732}$ *	0,04166	12,20	93,33
	2. $\hat{V} = 0,000261 * D^{2,363573}$ *	0,03206	10,59	90,6
	3. $\hat{V} = 0,000059 * (D^2H)^{0,94335}$ *	0,02529	8,35	94,15
	4. $\hat{V} = D^2(10,00012 * + 0,000029 * H)$	0,02442	8,06	94,55
	5. $\hat{V} = -0,060527 * + 0,000938 * D^2$	0,0126	10,32	91,06
	6. $\hat{V} = 0,015976^{ns} + 0,000034 * D^2H$	0,02516	8,31	94,21
	7. $\hat{V} = 0,005073^{ns} - 0,00669^{ns} D + 0,001102 * D^2$	0,03111	10,27	91,15
	8. $\hat{V} = 0,0839487 * - 0,152233 * D - 0,005431 * D^2 + 0,003193 * DH - 0,000121 * D^2H$	0,02533	8,36	94,23
7	1. $\hat{V} = 0,000201 * D^{2,023123} * H^{0,465923}$ *	0,04166	12,20	93,33
	2. $\hat{V} = 0,00046 * D^{2,232298}$ *	0,04694	13,74	91,53
	3. $\hat{V} = 0,000107 * (D^2H)^{0,894285}$ *	0,04139	12,12	93,41
	4. $\hat{V} = D^2(0,000463 * + 0,00002 * H)$	0,04166	12,32	93,19
	5. $\hat{V} = - 0,054676 * + 0,001061 * D^2$	0,04692	13,74	91,53
	6. $\hat{V} = 0,03759 * + 0,000036 * D^2H$	0,04163	12,19	93,33
	7. $\hat{V} = -0,138394^{ns} + 0,008441^{ns} D + 0,000857 * D^2$	0,04722	13,82	91,42
	8. $\hat{V} = -0,251326^{ns} + 0,035108^{ns} D - 0,000543^{ns} D^2 - 0,000523^{ns} DH + 0,000041^{ns} D^2H$	0,03710	10,86	94,71

No caso das idades de cinco e sete anos, o modelo 4 apresentou-se ligeiramente mais preciso que o modelo 1. Já para a idade de seis anos, o modelo 8 apresentou melhor desempenho. Resultados inferiores para a idade de cinco anos foram encontrados por Tonini et al. (2005a), sendo o melhor com $\bar{R}^2 = 0,79$ e $S_{y,x}(\%) = 14,08$.

A partir da Tabela 3 é possível concluir também que para a idade de seis anos as equações ajustadas apresentaram precisão ligeiramente inferior à apresentada para as idades de cinco e sete anos, que tiveram desempenhos semelhantes. Isto pode denotar algum tipo de influência da idade no desempenho das equações, mas pode significar também algum

tipo de efeito aleatório decorrente das amostras coletadas, necessitando-se de mais pesquisas para se definir melhor a influência da idade na estimação do volume de árvores individuais de paricá.

É importante ressaltar ainda que os modelos 1 e 4 tiveram resultados de precisão bem parecidos nas três idades, o que pode levar à decisão da escolha de apenas um modelo para as três idades. Assim, a análise dos resíduos entra como uma boa ferramenta de decisão nesta situação.

Nas Figuras 1, 2 e 3 são apresentadas as análises gráficas dos resíduos para os modelos avaliados nas idades de cinco, seis e sete anos, respectivamente.

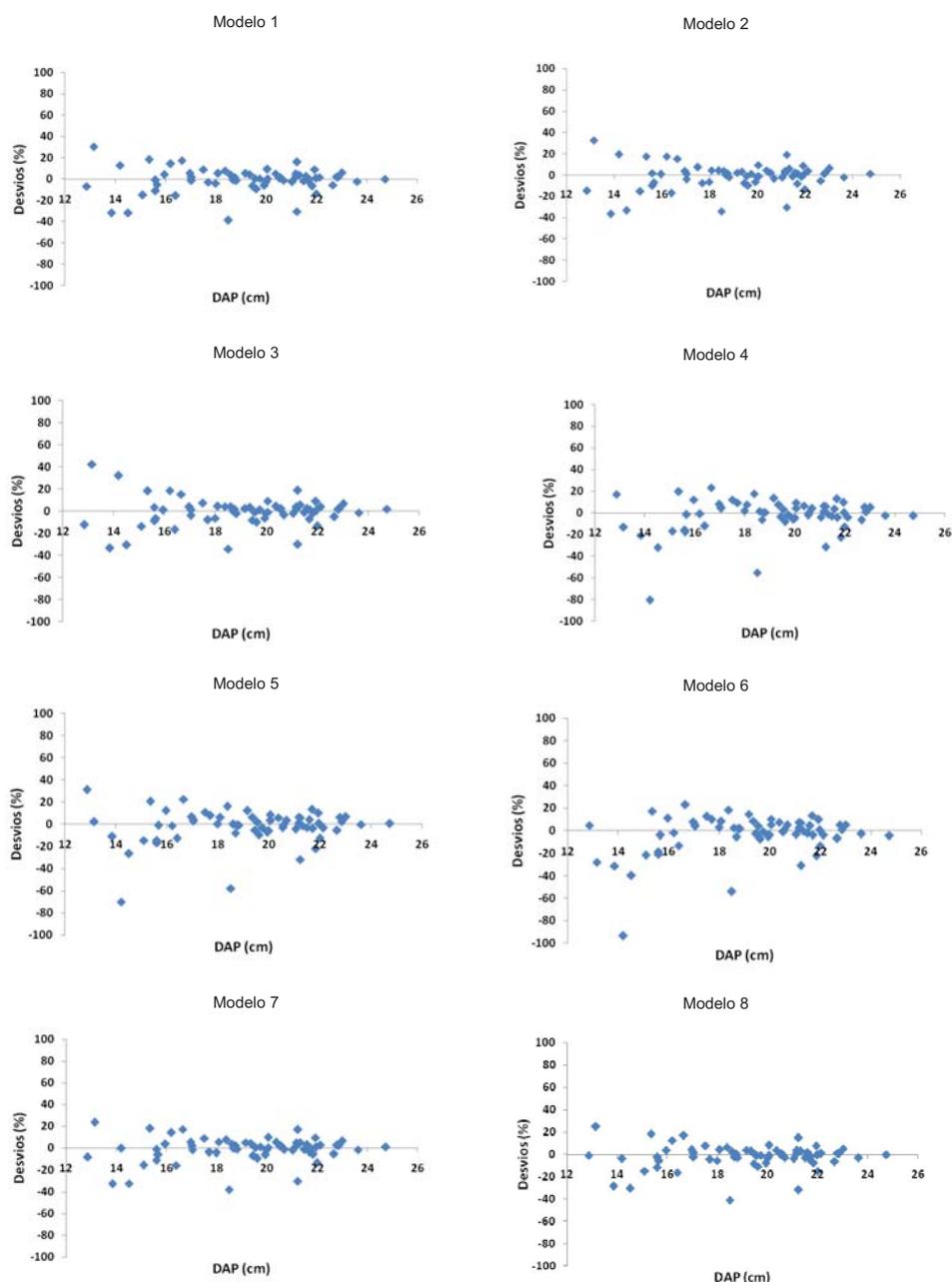


Figura 1. Resíduos percentuais em função do DAP para os modelos avaliados, considerando-se a idade de cinco anos

Figure 1. Percentage residues as a function of the DBH for the evaluated models at age 5 years

Observa-se para todos os modelos em todas as idades, uma tendência em se produzir estimativas menos precisas para as árvores menores. Nota-se na Figura 2, associada à idade de seis anos, que esta tendência foi mais pronunciada, com quatro ou cinco outliers, os quais provocaram uma maior variação na escala dos resíduos para as menores árvores. Estes resultados estão de acordo com as medidas de precisão apresentadas na Tabela 2, que indicam equações menos precisas para esta idade.

A questão dos outliers está relacionada a erros provocados, principalmente, pela quebra accidental das árvores-amostra na obtenção dos dados. Além desse fato, há o fator fisiológico da árvore, que muitas vezes apresenta algum problema de crescimento que as diferenciam da maioria das amostras coletadas.

Admitindo-se que os modelos 1 e 4 tiveram resultados mais precisos nas três idades, houve a necessidade de aplicação do teste qui-quadrado para comparar semelhanças estatísticas entre os parâmetros conforme descrito na metodologia deste estudo.

Assim, na aplicação do teste, foram encontrados os seguintes resultados: modelo 1: $\chi^2_{calculado} = 81,11$; $\chi^2_{(6;5\%)} = 12,6$; modelo 4: $\chi^2_{calculado} = 78,41$; $\chi^2_{(4;5\%)} = 9,49$; em que $\chi^2_{calculado}$ refere-se ao valor calculado de qui-quadrado; $\chi^2_{(6;5\%)}$ e $\chi^2_{(4;5\%)}$ correspondem, respectivamente, aos valores tabelados de qui-quadrado para os graus de liberdade dos modelos 1 e 4, a 5% de probabilidade.

É importante esclarecer que, de acordo com o apresentado por Regazzi (2003), os graus de liberdade equivalem ao número

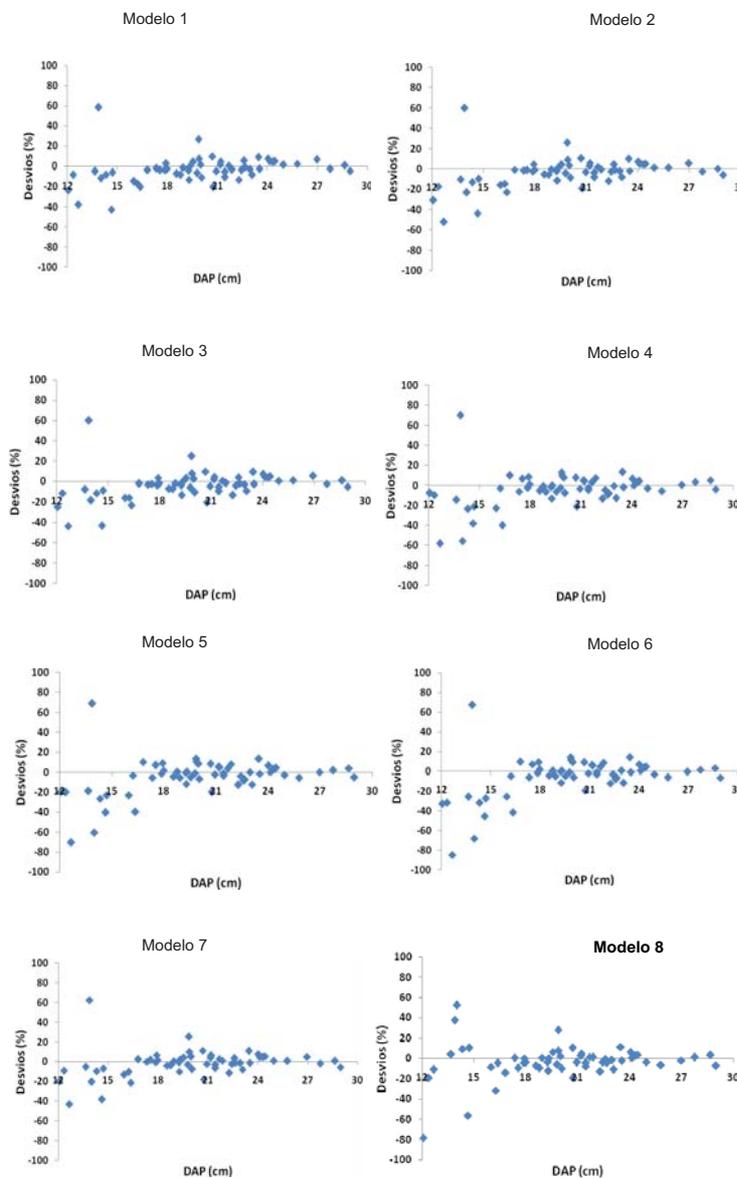


Figura 2. Resíduos percentuais em função do DAP para os modelos avaliados, considerando-se a idade de seis anos

Figure 2. Percentages residues as a function of the DBH for the evaluated models at age 6 years

de parâmetros estimados para o modelo completo (no caso deste trabalho, nove para o modelo 1, sendo três para cada grupo de idade, e 6 para o modelo 4, dois para cada grupo de idade) menos o número de parâmetros estimados para o modelo restrito (3 parâmetros para o modelo 1, e 2 para o modelo 4).

Como o qui-quadrado calculado foi maior que o tabelado para 5% de probabilidade, infere-se que as equações associadas aos modelos 1 e 4 foram estatisticamente diferentes a 5% probabilidade.

Com isso, rejeitou-se a hipótese H_0 , significando que a idade afeta a relação entre o diâmetro e a altura das árvores e conseqüentemente seu volume. Assim, ficou evidenciado que há a necessidade de se empregar uma equação para cada idade para se estimar o volume das árvores de paricá.

No caso deste trabalho é muito importante ressaltar que o efeito da idade deve ser avaliado com cuidado, uma vez que os dados foram coletados em plantios com três idades diferentes em um mesmo momento do tempo. O ideal seria que os dados fossem coletados em um mesmo plantio em momentos diferentes do tempo, o que, por razões operacionais, não foi possível fazer. Por outro lado, como as áreas amostradas encontravam-se próximas, com condições de produção e manejo semelhantes, os resultados encontrados podem ser encarados como um indicativo de que há efeito da idade, o que inclusive é o que teoricamente se espera. Por outro lado, é indiscutível a necessidade de novos estudos mais detalhados para corroborar estes resultados.

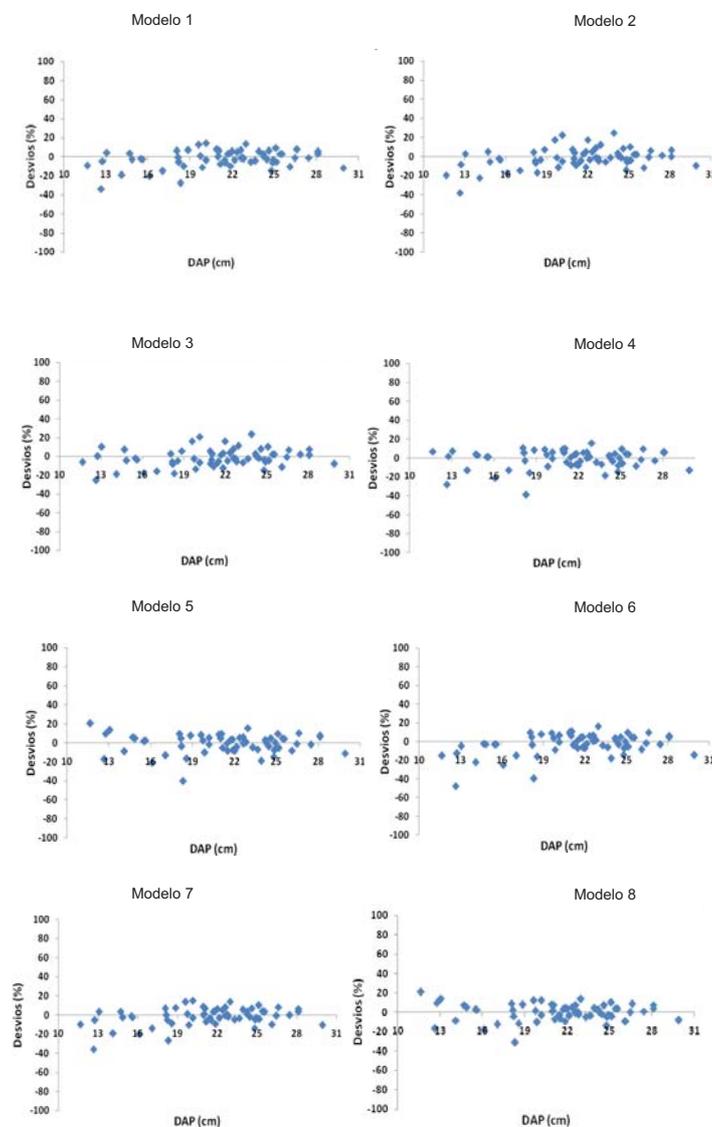


Figura 3. Resíduos percentuais em função do DAP para os modelos avaliados, considerando-se a idade de sete anos

Figure 3. Percentages residues as function of the DBH for the evaluated models at age 7 years

CONCLUSÕES

Quanto às características dendrométricas do paricá, a espécie obteve resultados satisfatórios quando comparados aos das espécies tradicionais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, se mostrando com potencial para plantios comerciais na região estudada.

Os modelos de volume total avaliados apresentaram desempenhos semelhantes nas diferentes idades em termos de precisão, com ligeira vantagem para o modelo 1, seguido pelo modelo 4, em todas as idades.

Para os modelos 1 e 4, para se estimar o volume das árvores de paricá, deve-se utilizar uma equação para cada idade;

Há indicações de influências da idade na estimação do volume das árvores de paricá.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – FAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Grupo Concren, em especial o engenheiro Luciano Z. Zaneti, por disponibilizar os dados para a experimentação.

LITERATURA CITADA

- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF. Anuário estatístico da ABRAF. <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF09-BR.asp>. 6 Jun. 2009.
- Campos, J.C.C.; Leite, H.G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 470p.
- Costa, D.H.M.; Rebello, F.K.; D'ávila, J.L.; Santos, M.A.S.; Lopes, M.L.B. Alguns aspectos silviculturais sobre o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber). Belém, Banco da Amazônia, 1998. 19p. (Série Rural 2).
- Couto, H.T.Z.de; Batista, J.L.F.; Rodrigues, L.C.E. Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas. Documentos Florestais (IPEF), n.5, p.1-37, 1989.
- Finger, C.A.G. Fundamentos de Biometria Florestal. Santa Maria: UFSM/FATEC/CEPEF, 1992. 269p.
- Gonçalves, J.L.M.; Demattê, J.L.I.; Couto, H.T.Z. Relações entre produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. IPEF, n.43/44, p.24-39, 1990.
- Greene, W.H. Econometric analysis. New Jersey: New York University, 1997. 1075p.
- Husch, B.; Miller, C.I.; Beers, T.W. Forest mensuration. Malabar: Krieger, 1993. 402p.
- Imaña-Encinas, J.I.; Silva, G.F.; Kishi, I.T. Variáveis dendrométricas. Brasília: UnB, 2002. 102p. (Comunicações Técnicas Florestais, 1).
- Kvalseth, T.O. Cautionary note about R². The American Statistician, v.39, n.4 (Pt. 1), p.279-285, 1985.
- Leite, F.P.; Barros, N.F.; Novais, R.F.; Sans, L.M.A.; Fabres, S.A. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. Revista Árvore, v.21, n.3, p. 313-321, 1997.
- Loetsch, F.; Zoehrer, F.; Haller, K.E. Forest inventory. Munchen: BLV, 1973. v.2. 469p.
- Machado, S.do A.; Urbano, E.; Conceição, M.B da. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferentes regimes de desbaste. Boletim de Pesquisa Florestal, n.50, p.81-98, 2005.
- Marques, L.C.T.; Yared, J.A.G.; Sivieiro, M.A. A evolução do conhecimento sobre o paricá para reflorestamento no Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 5p. (Comunicado Técnico, 158).
- Mello, J.M. de; Batista, J.L.F.; Oliveira, M.S. de; Ribeiro Júnior, P.J.R. Estudo da dependência espacial de características dendrométricas para *Eucalyptus grandis*. Cerne, v.11, n.2, p.113-126, 2005.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. Mensura Forestal. Costa Rica: IICA/BMZ/GTZ, 1997. 589p.
- Regazzi, A.J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. Revista Ceres, v.50, n.287, p.9-26, 2003.
- Rondon, E.V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. Revista Árvore, v.26, n.5, p.573-576. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500007>
- Scolforo, J.R.S. Mensuração florestal 3: Relações quantitativas: em volume, peso e a relação hipsométrica. Lavras: DCF-ESAL, 1993. 291p.
- Scolforo, J.R.S.; Figueiredo Filho, A. Biometria florestal: medição e volumetria de árvores. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 310p.
- Silva, G.F.; Hoffmann, R.G.; Fiedler, N.C.; Môra, R.; Piassi, L.C.; Santos, E.M. do.; Oliveira, O.M.de. Equações volumétricas para plantações de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) na região de Paragominas, PA. In: Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 4., 2008, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, 2008. p.345-351.
- Silva, J.C. Análise estratégica da produção madeireira sustentada na Amazônia brasileira. Brasília: UnB, 2008. 117p. Tese Doutorado.
- Tonini, H.; Arco-Verde, M.; Schwengber, D.R.; Mourão Júnior, M. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. Cerne, v.12, n.1, p.8-18, 2006.
- Tonini, H.; Arco-Verde, M.F.; Sá, S.P.P. de. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no Estado de Roraima andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellaneda* Lorentz ex. Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). Acta Amazônica, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005b. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000300008>
- Tonini, H.; Pereira, M.R.N.; Arco-Verde, M.F.; Oliveira Júnior, M.M. de. Seleção de equações para o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), no Estado de Roraima. Roraima: Embrapa Roraima, 2005a. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 4).
- Vieira, A.H.; Rocha, R.B.; Gama, M.M.B.; Locatelli, M. Desempenho de sumaúma (*Ceiba pentandra* Gaertn) em plantio adensado no Estado de Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2007. 4p. (Circular Técnica, 95).