

OBTENÇÃO DE RELAÇÕES QUANTITATIVAS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME DO FUSTE EM FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECÍDUA MONTANA

José Roberto Scolforo¹

José Márcio de Mello¹

Christian Sorensen de Almeida Lima¹

RESUMO - Este estudo teve por objetivo testar e desenvolver modelos volumétricos, obter fatores de forma, assim como, identificar ou não diferença na estimativa dos volumes do fuste a partir destas possibilidades, e também verificar a possibilidade de obter estimativas para toda a floresta a partir de uma única equação de volume e/ou fator de forma para árvores de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras, Minas Gerais. Foram feitas cubagem rigorosa do fuste aproveitável em 181 árvores com circunferência a altura do peito (CAP) entre 15,0 e 230 cm, para fins de quantificação do volume real do fuste. As espécies canela (*Ocotea odorifera*), pindaíba (*Xylopia brasiliensis*) e copaíba (*Copaifera langsdorffii*) foram cubadas em separado por apresentarem destacado índice de valor de importância (IVI). As demais espécies foram consideradas como miscelânea. Os modelos volumétricos testados foram obtidos em literatura, além de construídos através do procedimento de "stepwise". O fator de forma obtido foi o normal. A verificação de qual procedimento é mais eficiente e a possibilidade de gerar uma única equação de volume e/ou um único fator de forma médio para estimar o volume foi obtido através de análise de variância. Os resultados indicaram que as equações de volume e o fator de forma são igualmente precisos para estimar volume de fuste, e que equações de volume a nível de espécie ou grupo de espécies são preferíveis ao fator de forma. Outro objetivo foi testar e desenvolver uma série de modelos para estimar o volume por unidade de área (equações do povoamento). O modelo selecionado propiciou estimativa do volume que diferiu 0,001% do parâmetro.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos volumétricos, fator de forma, equação do povoamento

OBTAINMENT OF QUANTITATIVE RELATIONSHIPS FOR THE ESTIMATIONS OF STEM VOLUME IN A SEASONAL SEMIDECIDUOUS FOREST

ABSTRACT - The objectives of this research were: to test and develop volumetric models, to estimate form factors, to compare volume estimations from volume equations with those from the form factors used, to verify the possibility of obtaining estimates for the whole forest by using a single volume equation and the form factor method. The data came from trees of a montane semideciduous forest located in the region of Lavras, Minas Gerais. The actual commercial volume was obtained for 181 trees with circumference at the breast height (CAP) ranging from 15 cm to 230 cm, by using the Smalian formula. The tree species canela (*Ocotea odorifera*), pindaíba (*Xylopia brasiliensis*), and copaíba (*Copaifera langsdorffii*) were separately cubed because they presented an outstanding importance value index (IVI). The other tree species were considered all together. The volumetric models tested came from the literature, and also from the stepwise procedure. The form factor obtained was the so called absolute or normal. The verification of the most efficient procedure and of the possibility of generating a single volume equation, or a single average form factor to estimate the volume was carried out using analyses of variance. The results indicated that volume equations and form factors were equally precise to estimate tree stem volume, and that for practical purposes, volume equations by species or group of species should be preferred. Another objective was to test and developed models to estimate volume per unit area. The selected model provided an estimate of volume which differed only 0,001% from the parameter.

KEY-WORDS: Volumetric models, form factors, stand models.

1 Departamento de Ciências Florestais, UFLA - C.P. 37 - 37200-000 LAVRAS, MG.

INTRODUÇÃO

Uma série de trabalhos vem sendo desenvolvidos para quantificar o volume de árvores individuais. Dentre as metodologias que possibilitam a obtenção destes volumes pode-se citar: equações de volume, fator de forma, funções de forma, equações do povoamento e as funções splines. No entanto, a abordagem é amplamente predominante para florestas homogêneas plantadas.

Já em florestas naturais, poucos trabalhos estão disponíveis na literatura florestal. Dentre outros, podem-se citar o desenvolvido por Jorge (1982), que testou oito modelos de equações volumétricas para estimar o volume comercial com casca em floresta nativa do tipo alta de terra firme no norte do Espírito Santo. Este autor concluiu que os modelos logarítmicos propostos por Schumacher e Hall e por Prodan foram os que forneceram as melhores estimativas:

$$(\log V = \beta_0 + \beta_1 \log D + \beta_2 \log H) + E_i$$

$$(\log V = \beta_0 + \beta_1 \log D + \beta_2 \log D^2 + \beta_3 \log H + \beta_4 \log H^2) + E_i$$

Verificando a eficiência do fator de forma e equações de volume na estimativa do volume do fuste de *Cariniana legalis* (Mart.) O. Ktze, *Cordia trichotoma* Vell., *Boweichia virgilioides* HBK e *Joannesia princeps* Vell, ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce, em Linhares, ES., Souza e Jesus (1991), encontraram que as estimativas volumétricas propiciadas pelos 2 métodos não diferiram estatisticamente ao nível de 95% de probabilidade de acerto. Estes mesmos autores encontraram que os modelos volumétricos diferiram de espécie para espécie, não havendo um modelo de emprego geral, apesar do modelo de Schumacher e Hall estar incluído entre os melhores.

Scolforo, Silva e Lima (1993) testaram e desenvolveram modelos volumétricos e de peso seco, para aroeira (*Schinus* sp), angico (*Anadenanthera* sp), jatobá (*Hymenaea courbaril*) e miscelânea. Verificaram também através de análise de covariância a possibilidade de agrupamento das equações de volume do fuste. Observaram que para a estimativa do volume do fuste e do volume total, dentre os 14 modelos testados (tradicionais da literatura e stepwise), o que predominou foi o de Schumacher e Hall através de ajuste não linear. Já para estimativa do peso seco do fuste e da árvore toda, os modelos predominantes foram obtidos de "stepwise". Verificaram, ainda, através da análise de covariância, não ser indicado o agrupamento dos dados de todas as

espécies para gerar uma única regressão. Em 90% dos casos as equações selecionadas apresentaram erro padrão residual inferior a 10% e o menor coeficiente de determinação (R^2) obtido foi de 98,9%.

Em contraposição aos volumes por árvores individuais e visando reduzir custos dos levantamentos florestais sem perda da eficiência na estimativa pode-se utilizar as equações de volume por unidade de área (equações do povoamento). Neste caso, a ausência de estudos em florestas naturais é mais patente ainda, podendo-se citar o trabalho desenvolvido por Figueiredo, Machado e Rosot (1982) que utilizaram esta metodologia para floresta de várzea e de terra firme nos municípios de Tefé e Juruá no Estado de Amazonas. Dentre outros trabalhos, mas com floresta plantada, pode-se citar os de Rosot (1989) com *Pinus* sp e o de Silva (1979) com *Eucalyptus* sp.

O presente trabalho teve como objetivos gerar e selecionar equações de volume que estimem com precisão o volume de espécies em particular, de grupos de espécies e de todo o grupo de espécies existente em floresta residual montana semidecídua, além de verificar a possibilidade de agrupamento de todas as espécies em um único grupo. Além de efetuar o mesmo procedimento para o fator de forma, procurou-se também testar a eficiência das equações de volume em relação aos fatores de forma. Outro objetivo foi testar e desenvolver modelos de equações do povoamento que fornecem o volume por unidade de área e confrontar a estimativa proporcionada por estes modelos com o parâmetro do povoamento.

MATERIAL E MÉTODOS

• Localização e características da área

A área na qual foram obtidos os dados foi uma mata Estacional Semidecídua Montana com dossel emergente, segundo Oliveira Filho, Scolforo e Mello (1993), situada no campus da UFLA, no município de Lavras, estado de Minas Gerais, localizada a 45° W de longitude, 21° 14' de latitude e a uma altitude média de 918,87 m.

Segundo Golfari (1975), a região apresenta clima subtropical moderado úmido. A temperatura média anual varia, segundo os lugares, de 18° a 20°C. A precipitação média anual varia entre 1400 mm e 1700 mm; seu regime de distribuição é periódico, predominando no semestre mais quente. O inverno tem de dois a quatro meses secos com déficit hídrico pequeno entre 10 e 30 mm anuais. A evapotranspiração anual varia entre 800 e 850 mm. Os solos dominantes na região são: ferralsolos órticos, Acrissolos térmicos, Acrissolos órticos Luvisolos férricos.

cambissolos distrícos, ferralsolos ácrícos e litossolos.

• **Coleta de dados e a cubagem rigorosa**

Procedeu-se uma enumeração completa da área de 5,04 ha a qual foi dividida em parcelas de 400 m² (20 x 20 m), totalizando 126 parcelas. Dentro dos limites estabelecidos para cada parcela, foram mensuradas todas as plantas com circunferência a 1,30 m do solo (CAP), igual ou superior a 15,7 cm.

Utilizando-se das informações do inventário foi efetuada a análise estrutural da vegetação, assim como a distribuição de cada espécie em classes de circunferência. A conjugação desses dois critérios possibilitou definir interesse específico na:

Pindaíba (*Xylopia brasiliensis*);

Canela sassafrás (*Ocotea odorifera*);

Óleo copaíba (*Copaifera langsdorffii*);

Miscelânea (Grupo de espécies sem interesse específico).

Para estas espécies foi então feita a cubagem rigorosa de árvores em todas as classes de tamanho, conforme pode-se ver nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Para cada indivíduo foram tomadas medidas de circunferência e espessura de casca à diversas alturas (0,20 m; 0,70 m; 1,30 m; 2,00 m; ...) com intervalos de comprimento de um metro a partir dos dois metros de altura até a altura

comercial. Vale ressaltar que a cubagem das árvores foi destas em pé, utilizando-se para tal de escadas de alumínio.

A partir dos dados da cubagem rigorosa, fez-se a determinação dos volumes individuais usando a fórmula de Smalian. Para canela, pindaíba, copaíba, miscelânea e para todo o grupo (canela, pindaíba, copaíba e miscelânea) foi obtido o fator de forma normal com casca.

Da mesma maneira que para o fator de forma, utilizou-se os volumes reais obtidos da cubagem rigorosa, e as circunferências a altura do peito (CAP) e altura do fuste comercial (HC), para gerar equações de volume que propiciaram estimativas dos volumes de:

- Pindaíba (*Xylopia brasiliensis*);

- Canela sassafrás (*Ocotea odorifera*);

- Óleo copaíba (*Copaifera langsdorffii*);

- Miscelânea;

- Grupo todo (canela, pindaíba, copaíba, miscelânea).

Os modelos testados foram os tradicionais obtidos na literatura florestal e outros desenvolvidos através de Stepwise pelos autores. Estes modelos são mostrados na Tabela 5.

• **Possibilidade de gerar uma única equação de volume e/ou fator de forma**

Para verificar esta possibilidade pode-se utilizar os métodos:

TABELA 1 - Representação da frequência das árvores para cubagem rigorosa nas diferentes classes de circunferência. (Pindaíba - *Xylopia brasiliensis*).

Classes de circunferência	Frequência
18 -- 43	7
43 -- 68	12
68 -- 93	5
93 -- 118	4
118 -- 143	4

TABELA 2 - Representação da frequência das árvores para cubagem rigorosa nas diferentes classes de circunferência (Canela sassafrás - *Ocotea odorifera*).

Classes de circunferência	Frequência
15,0 -- 32,5	9
32,5 -- 50,0	6
50,0 -- 67,5	8
67,5 -- 85,0	4
85,0 -- 102,5	6
102,5 -- 120,0	3

TABELA 3 - Representação da frequência das árvores para cubagem rigorosa nas diferentes classes de circunferência. (Óleo copaíba - *Copaifera langsdorffii*).

Classes de Circunferência	Frequência
15 — 30	2
30 — 45	4
45 — 60	7
60 — 75	3
75 — 90	4
90 — 105	6
105 — 120	3
120 — 150	4

TABELA 4 - Representação da frequência das árvores para cubagem rigorosa nas diferentes classes de circunferência. (Miscelânea - grupo de espécies).

Classes de Circunferência	Frequência
17 — 31	10
31 — 45	7
45 — 59	10
59 — 73	11
73 — 87	8
87 — 101	9
101 — 115	9
115 — 129	6
129 — 143	6
143 — 157	1
157 — 171	1
214 — 227	2

TABELA 5 - Representação dos modelos volumétricos utilizados para estimativa do volume aproveitável do fuste.

Autor	Modelos
01. Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 (CAP^2 \cdot H) + E_i$
02. Australiana	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP^2 + \beta_2 H + \beta_3 CAP^2 \cdot H + E_i$
03. -	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP + \beta_2 CAP^2 + \beta_3 CAP \cdot H + \beta_4 CAP^2 \cdot H + E_i$
04. -	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP + \beta_2 CAP^2 + \beta_3 CAP^3 + \beta_4 CAP \cdot H + \beta_5 CAP^3 \cdot H + \beta_6 CAP^2 \cdot H^2 + E_i$
05. Scofforo; Sorensen	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP^2 + \beta_2 CAP^2 \cdot H + E_i$
06. Scofforo; Sorensen	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP/H + \beta_2 CAP^2 \cdot H + \beta_3 CAP^3 \cdot H + E_i$
07. Scofforo; Sorensen	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP \cdot H + \beta_2 CAP^3 \cdot H + \beta_3 CAP \cdot H^2 + E_i$
08. Scofforo; Sorensen	$V = \beta_0 + \beta_1 H + \beta_2 CAP^2 \cdot H + \beta_3 CAP \cdot H^2 + E_i$
09. Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP + \beta_2 CAP^2 + \beta_3 CAP \cdot H + \beta_4 CAP^2 \cdot H + \beta_5 H + E_i$
10. -	$V = \beta_0 + \beta_1 CAP^3 \cdot H + \beta_2 CAP \cdot H^2 + \beta_3 CAP^2 + E_i$
11. Scofforo	$V = \beta_0 + \beta_1 \text{LOG}(CAP) + \beta_2 CAP^2 \cdot H + \beta_3 CAP^3 + \beta_4 CAP^3 \cdot H + \beta_5 CAP^2 \cdot H^2 + \beta_6 CAP \cdot H^2 + \beta_7 CAP + E_i$
12. Honer	$V = CAP^2 / (\beta_0 + \beta_1 \cdot 1/H) + E_i$
13. Takata	$V = (CAP^2 \cdot H) / (\beta_0 + \beta_1 CAP) + E_i$
14. Schumacher e Hall	$V = \beta_0 CAP^{\beta_1} \cdot H^{\beta_2} + E_i$
15. Ogaya	$V = CAP^2 (\beta_0 + \beta_1 \cdot H) + E_i$

em que:

V = volume aproveitável do fuste em m^3 ; CAP = circunferência a altura do peito (CAP) em cm;

H = altura do fuste aproveitável ou comercial; β_1 = parâmetros a serem estimados; E_i = erro da estimativa.

- Análise de variância com testes de média;
- Análise de covariância;
- Análise multivariada.

O método da análise de covariância consiste em verificar se as regressões ajustadas para canela, pindaíba, copaíba, miscelânea e para o grupo todo, tem a mesma inclinação e o mesmo nível. No caso de não ser identificada diferença significativa, entre os modelos selecionados, tanto para inclinação (forma), como para os níveis, então as regressões podem ser agrupadas e aí aquela ajustada para o grupo todo é a que será utilizada. Se for detectada qualquer diferença significativa pela análise de covariância então os modelos ajustados separadamente não podem ser agrupados. No entanto, o uso deste procedimento só é possível se para canela, pindaíba, copaíba, miscelânea e para o grupo todo, o mesmo modelo for o selecionado. Detalhes de como o procedimento é aplicado, podem ser encontrados em Scolforo, (1993) e Freese (1964). A técnica de agrupamento através de estatística multivariada, conforme pode-se encontrar em Leite e Regazzi (1992), também pode ser aplicada ao conjunto de dados.

Foi então viabilizada a análise de variância para identificar diferenças ou não entre médias dos 5 tratamentos propostos:

- Volume real;
- Volume estimado pela equação selecionada para a espécie considerada (ou pindaíba, ou canela, ou copaíba, ou miscelânea)²;
- Volume estimado pela equação selecionada para o grupo todo (pindaíba + canela + copaíba + miscelânea);
- Volume estimado pelo fator de forma médio para a espécie considerada (ou pindaíba, ou canela, ou copaíba, ou miscelânea);
- Volume estimado pelo fator de forma médio para o grupo todo (pindaíba + canela + copaíba + miscelânea).

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em que cada classe de diâmetro compôs um bloco. Pode-se, então, verificar, por exemplo, para pindaíba, se o volume das árvores desta espécie poderia ou não ser estimado pela equação selecionada para esta espécie; pela equação selecionada para o grupo todo (pindaíba + canela + copaíba + miscelânea); pelo fator de forma médio para a espécie em questão, ou pelo fator de forma para o grupo todo. Este mesmo procedimento foi efetuado para canela, copaíba e miscelânea. Analisou-se, portanto, quatro experimentos.

• Equações do povoamento

O volume/ha (volume da parcela extrapolado para o ha) foi obtido das 126 parcelas utilizadas neste trabalho. Pode-se então correlacioná-lo com a área basal/ha (G), com a média aritmética da altura (h), média aritmética da circunferência (C), com o número de árvores (N) e com a circunferência média quadrática (Cg).

Na Tabela 6 são apresentados os modelos testados para estimativa do volume por unidade de área.

TABELA 6 - Modelos que expressam o desenvolvimento do volume por unidade de área.

Modelos testados
1. $V = \beta_0 + \beta_1 G + E_i$
2. $V = \beta_0 + \beta_1 G^2 + E_i$
3. $V = \beta_0 + \beta_1 GN + E_i$
4. $V = \beta_0 + \beta_1 G\bar{h} + E_i$
5. $V = \beta_0 + \beta_1 G^2 \bar{h} + E_i$
6. $V = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 G^2 + E_i$
7. $V = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 \bar{h} + \beta_3 G\bar{h} + E_i$
8. $V = \beta_0 + \beta_1 N\bar{C} + E_i$
9. $V = \beta_0 + \beta_1 \bar{C} + E_i$
10. $V = \beta_0 + \beta_1 \bar{C}^2 + E_i$
11. $V = \beta_0 + \beta_1 C^2 \bar{h} + E_i$
12. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G + E_i$
13. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G^2 + E_i$
14. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log GN + E_i$
15. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G^2 N + E_i$
16. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G^2 \bar{h} + E_i$
17. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G\bar{h} + E_i$
18. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log \bar{C}^2 \bar{h} + E_i$
19. $\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log N\bar{C} + E_i$

• Critério para seleção da equação mais eficiente

Para fins de selecionar o modelo que melhor se ajustou a cada espécie e também ao conjunto geral dos dados, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão residual (Syx) e a análise gráfica dos resíduos, em porcentagem.

2 Miscelânea é composta de espécies em que não há interesse particular. daí também genericamente denominá-la de espécie.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

● Fator de forma

Na Tabela 7, são apresentados os valores médios de fatores de forma por espécie e classes de circunferência. De maneira geral, tanto para Pindaíba, como para Canela, Copaíba, Miscelânea e o grupo todo, os fatores de forma são maiores para as menores classes de circunferência. Este fato é explicado pela menor copa das árvores e/ou arbustos que formam o contingente das árvores dominadas e/ou codominantes. Ocorre um crescimento proporcionalmente maior na base da copa que ao nível do CAP.

Na Figura 1 são apresentados os resíduos dos volumes estimados pelo fator de forma médio, em relação aos volumes obtidos da cubagem rigorosa, respectivamente para pindaíba(a), canela(b), copaíba(c), miscelânea(d) e o grupo todo(e). Pode-se notar que, ocasionalmente, os erros de sub ou superestimativa ultrapassaram os 20%, havendo uma grande concentração destes, dentro do intervalo de $\pm 10\%$. Especificamente para pindaíba pode-se notar uma clara tendência para subestimar volumes das árvores com circunferência entre 40 e 90 cm de circunferência. Já para miscelânea esta subestimativa está clara para as árvores de pequeno porte, até 30 cm de circunferência, enquanto que, para copaíba pode-se verificar tendência em subestimar volume das árvores com até 60 cm de circunferência e tendência de superestimar volumes das árvores com

circunferência entre 60 e 100 cm de circunferência.

No entanto, de forma geral pode-se notar pela análise visual dos resíduos um desempenho satisfatório para os fatores de forma na estimativa dos volumes.

● Equações de volume

A Tabela 8, mostra as equações selecionadas para cada espécie considerada, para miscelânea e para o grupo todo. Nota-se que os valores do coeficiente de determinação e do erro padrão residual foram, respectivamente, superiores e inferiores àqueles normalmente encontrados na literatura florestal brasileira, atestando o desempenho plenamente satisfatório destas equações. Na Figura 2 é apresentada a distribuição gráfica dos resíduos, para pindaíba(a), canela(b), copaíba(c), miscelânea(d) e o grupo todo(e), respectivamente.

Pode-se notar pela análise gráfica dos resíduos, o excelente desempenho das equações geradas para pindaíba e canela, as quais não apresentaram qualquer tendenciosidade na estimativa do volume das árvores de qualquer porte. Para a copaíba é notada uma excelente distribuição dos resíduos para as árvores com mais de 60 cm de circunferência e uma situação mais difusa para as árvores com menos de 60 cm. Para miscelânea, pode-se notar que, a grande maioria dos resíduos não ultrapassaram 20% de erro. No entanto, constatou-se, tendência de

TABELA 7 - Representação dos fatores de forma médio/classe de circunferência por espécie.

Região/ Vegetação	Espécies	Classes de circunferência (cm)												Média Espécie		
		15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120	120-135	135-150	150-165	165-180	210-225		225-240	
Região: Lavras (MG)	Pindaíba Xylopia brasiliensis	0,764	0,824	0,808	0,814	0,789	0,762	0,667	0,796	0,728						0,772
	Copaíba Copaífera Langsdorffii	0,869	0,865	0,846	0,877	0,823	0,797	0,828	0,844							0,844
Vegetação: Semi decí- dua	Canela Ocotea Odorifera	0,838	0,837	0,833	0,853	0,906	0,864	0,866								0,857
	Miscelânea	0,841	0,874	0,845	0,853	0,803	0,826	0,864	0,759	0,762	0,784	0,9218	0,825	0,856		0,833
	Todo grupo	0,828	0,850	0,833	0,849	0,830	0,812	0,806	0,800	0,754	0,794	0,9218	0,825	0,856		0,827

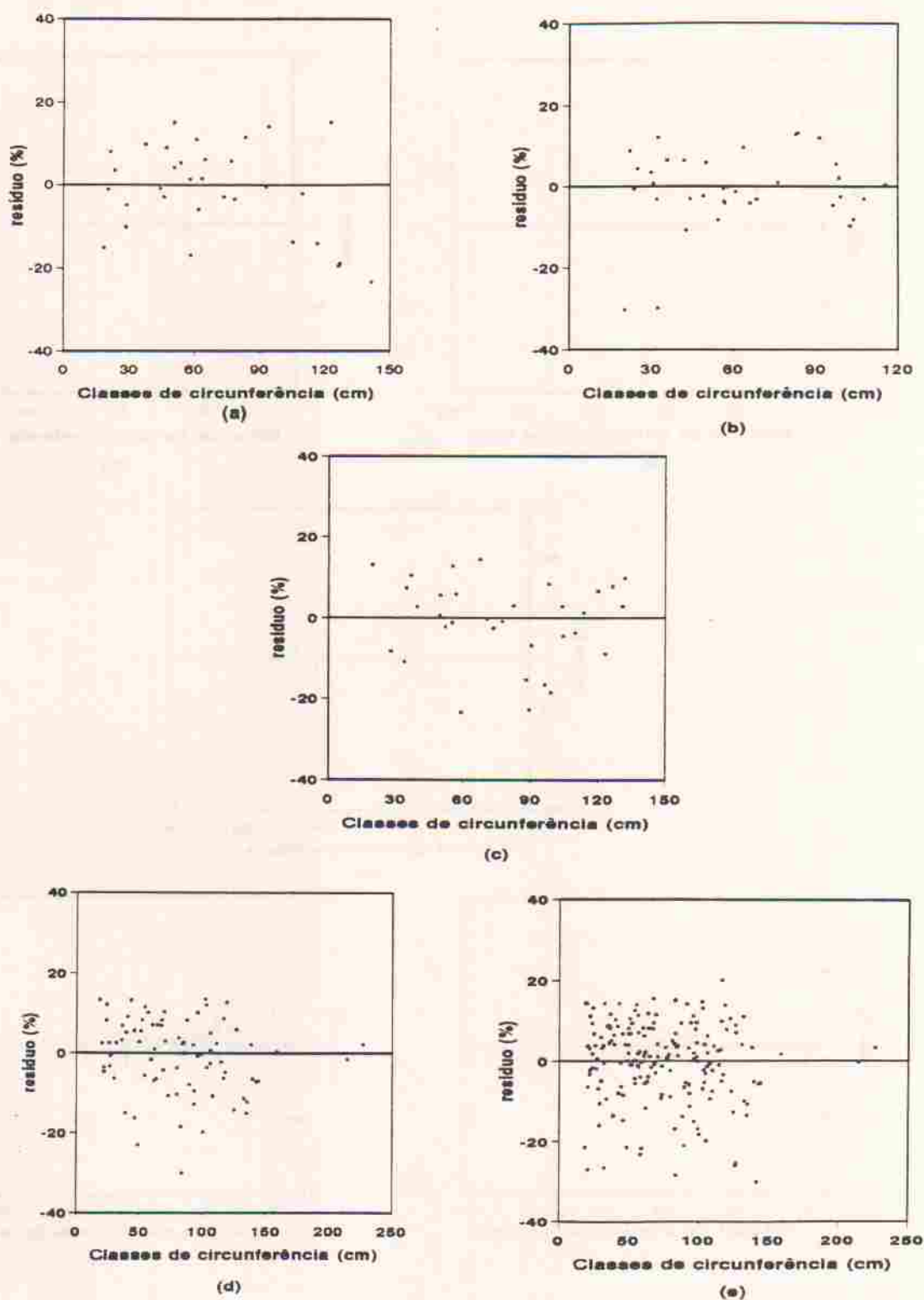


FIGURA 1 - Representação gráfica dos resíduos em porcentagem em função da circunferência a altura do peito, estimados pelo fator de forma médio para *Xylopia brasiliensis* (a), *Ocotea odorifera* (b), *Copaifera langsdorffii* (c), miscelânea (d) e grupo todo (e).

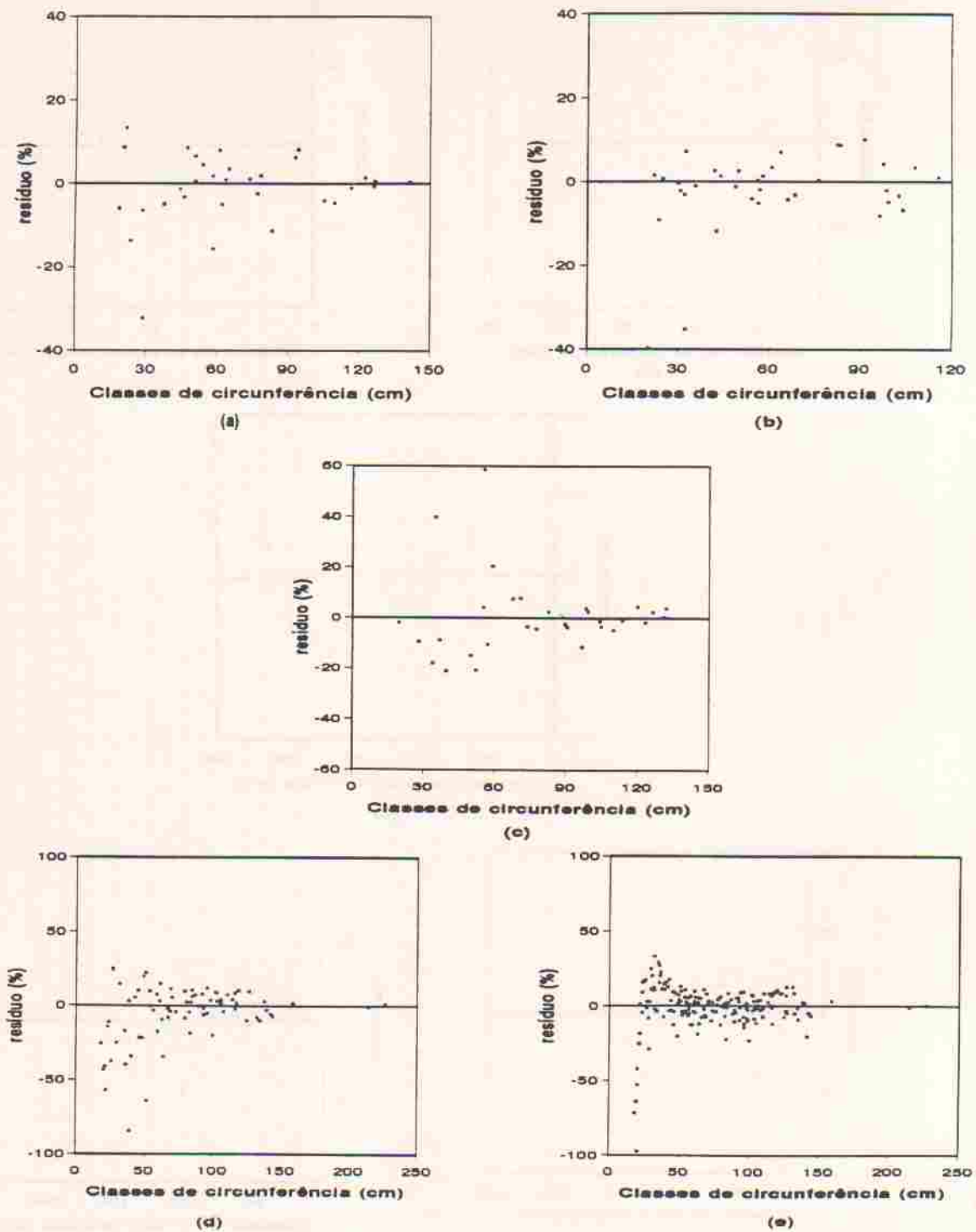


FIGURA 2 - Representação gráfica dos resíduos em porcentagem em função da circunferência a altura do peito, estimados pela equação de volume para *Xylopia brasiliensis* (a), *Ocotea odorifera* (b), *Copaifera langsdorffii* (c), miscelânea (d), grupo todo (e).

TABELA 8 - Equações de volume com casca selecionadas, e suas respectivas medidas de precisão.

Espécie	Modelo	R ² (%)	EPR (%)
Pindaíba (<i>Xylopia brasiliensis</i>)	$V = -0,007003 + (-1,664332 \text{ E-}8) \text{ CAP}^3 \cdot H + 3,335555 \text{ E-}7 \text{ CAP}^2 \cdot H^2 + 0,00004 \text{ CAP}^2$	99,73	4,80
Canela sassafrás (<i>Ocotea odorifera</i>)	$V = \text{CAP}^2 / (3578,6999 + 129952,651/H)$	99,53	6,70
Óleo Copaíba (<i>Copaifera langsdorffii</i>)	$V = -0,010356 + 0,000406 \text{ CAP} \cdot H + 4,111369 \text{ E-}8 \text{ CAP}^3 \cdot H + (-0,000023 \text{ CAP} \cdot H^2)$	99,73	4,85
Miscelânea	$V = -0,009326 + 0,00179 \text{ CAP} + (-9,599631 \text{ E-}6) \text{ CAP}^2 + (-0,000284) \text{ CAP} \cdot H + 8,176534 \text{ E-}6 \text{ CAP}^2 \cdot H$	99,53	8,48
Grupo Todo (pindaíba + canela + copaíba + miscelânea)	$V = 0,261484 + (-0,113233) \log(\text{CAP}) + 4,291025 \text{ E-}6 \text{ CAP}^2 \cdot H + (-1,333455 \text{ E-}7) \cdot \text{CAP}^3 + 3,126661 \text{ E-}8 \cdot \text{CAP}^3 \cdot H + (-3,559595 \text{ E-}7) \text{ CAP}^2 \cdot H^2 + 0,000018 \text{ CAP} \cdot H^2 + 0,004157 \text{ CAP}$	99,26	10,36

superestimar o volume das árvores, com circunferência em torno dos 20 cm. Para o grupo todo observou-se o mesmo comportamento já detectado pela miscelânea. No entanto, nos dois casos, foi verificado uma excelente distribuição dos resíduos para as árvores de 30 cm de circunferência, o que garante estimativa sem tendenciosidade do volume das árvores a partir desta classe.

De maneira geral, pode-se aprofundar o bom desempenho das equações selecionadas, as quais para alguns grupos apresentam tendências localizadas num pequeno intervalo de circunferência.

• Possibilidade de agrupamento de dados

Para os quatro experimentos considerados verificou-se existir diferença altamente significativa entre blocos, o que era esperado, já que a classe de diâmetro foi definida como bloco. Entretanto, não foi identificada diferença

significativa a nível de 95% de probabilidade de acerto entre os tratamentos considerados, para os quatro experimentos. Este fato pode ser observado nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 que mostram respectivamente a análise de variância para pindaíba, canela, copaíba e miscelânea.

Pode-se verificar que em termos médios não existiu diferença significativa entre as médias para os quatro experimentos. A análise das Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13 pode ser feita em duas etapas.

Uma primeira consideração é que ao selecionar uma equação de volume ou um fator de forma médio, muito mais que estimar o volume da árvore há o interesse em obter a estimativa do volume de uma parcela. Neste sentido, como as médias dos tratamentos 2, 3, 4 e 5 não diferem entre si e entre o tratamento 1, qualquer dos tratamentos pode propiciar estimativas seguras dos volumes de uma parcela.

TABELA 9 - Representação da análise de variância para Pindaíba (*Xylopia brasiliensis*).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Trat.	4	0,2896500 E-1	0,7241250 E-2	0,52600	*****
Bloco	4	13,6111700	3,4027920	247,22700	0,0000
Resíduo	151	2,0783430	0,1376386 E-1		

TABELA 10 - Representação da análise de variância para canela sassafrás (*Ocotea odorifera*).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Trat.	4	0,5371365 E-3	0,1342841 E-3	0,1380	*****
Bloco	5	3,7701580	0,7540316	777,3050	0,0000
Resíduo	170	0,1649101	0,9700593 E-3		

TABELA 11 - Representação da análise de variância para Copaíba (*Copaifera langsdorffii*).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Trat.	4	0,4170211 E-2	0,1042553 E-2	0,075	*****
Bloco	7	11,0557000	1,5793380	114,269	0,0000
Resíduo	153	2,1147060	0,1382161 E-1		

TABELA 12 - Representação da análise de variância para Miscelânea.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Trat.	4	0,6699584 E-2	0,1674896 E-2	0,158	*****
Bloco	8	31,9478600	3,9934820	377,562	0,0000
Resíduo	377	3,9875370	0,1057702 E-1		

TABELA 13 - Representação das médias aritméticas por tratamento para os quatro experimentos considerados.

Tratamentos	Espécies							
	Pindaíba	Erro (%)	Canela	Erro (%)	Copaíba	Erro (%)	Miscelânea	Erro (%)
1	0,3076		0,1518700		0,3182740		0,3227226	
2	0,3076	0,00	0,1519136	0,03	0,3182812	0,002	0,3231718	0,14
3	0,3163	2,83	0,1544433	1,70	0,3108312	2,340	0,3211605	0,48
4	0,3259	5,95	0,1529344	0,70	0,3260998	2,460	0,3323195	2,97
5	0,3434	11,64	0,1491586	1,78	0,3218666	1,130	0,3282245	1,70

onde:

Tratamento 1 = volume real.

Tratamento 2 = volume estimado pela equação selecionada para a espécie considerada.

Tratamento 3 = volume estimado pela equação selecionada para o grupo todo.

Tratamento 4 = volume estimado pelo fator de forma médio para a espécie considerada.

Tratamento 5 = volume estimado pelo fator de forma médio para o grupo todo.

Erro % = erro percentual do volume estimado pelo tratamento 2, 3, 4 e 5 em relação a média verdadeira (Tratamento 1).

Uma segunda consideração, é que mesmo sendo possível estimar o volume por qualquer dos tratamentos, o erro desta estimativa pode ser minimizado. Observe na Tabela 13 que o tratamento 2, para os quatro experimentos, apresenta um erro percentual em relação aos volumes médios da cubagem rigorosa que não ultrapassa 0,14%. Já o Tratamento 5 (fator de forma médio para o grupo todo), apresenta erro em relação a volume médio real de 11,64% para estimativa do volume de pindaíba.

Neste caso, em que pese poder utilizar qualquer dos tratamentos, sugere-se que para estimar volume de pindaibe seja preferivelmente utilizado:

- Equação de volume gerada para pindaíba;
- Equação de volume gerada para o grupo todo;
- Fator de forma médio obtido para pindaíba;

- Fator de forma médio obtido para o grupo todo.

Para estimar volume para canela sugere-se utilizar:

- Equação de volume gerada para canela sassafrás;
- Fator de forma médio obtido para canela sassafrás;
- Equação de volume ou fator de forma médio obtido para o grupo todo.

Para estimar volume para copaíba sugere-se utilizar:

- Equação do volume gerada para copaíba;
- Fator de forma médio obtido para o grupo todo;
- Equação de volume gerada para o grupo todo;
- Fator de forma obtido para copaíba;

Para estimar volume para miscelânea sugere-se utilizar:

- Equação do volume gerada para miscelânea;
- Equação do volume gerada para o grupo todo;
- Fator de forma obtido para o grupo todo;
- Fator de forma obtido para miscelânea.

• **Equação do povoamento**

A seguir, na Tabela 14, são apresentadas as equações ajustadas, assim como suas respectivas medidas de precisão. Pode-se verificar pelo coeficiente de determinação e pelo erro padrão residual a baixa correlação existente entre a média aritmética da circunferência e a variável dependente volume. Em contrapartida a área basal e sua combinação com a média aritmética da altura apresentaram alta correlação com o volume por unidade de área. No entanto, a equação selecionada foi a de número 1.

A opção pelo modelo (1) e não pelos modelos (7 ou 16) foi de ordem prática, já que os 3 apresentaram-se eficientes. Observe que a opção pelos modelos (7 ou 16) implicaria na medição da altura do fuste de todas as árvores

da parcela, além da medida do diâmetro, o que propicia um substancial aumento dos custos do inventário. Já no caso da equação (1) como o volume é função somente da área basal então basta mensurar os diâmetros ou circunferência das árvores na parcela, e rapidamente se obtém o volume por unidade de área.

Após o confronto do volume estimado pela equação (1) e o parâmetro volume/ha, verificou-se que o erro pelo uso da equação do povoamento não ultrapassou 0,001%.

CONCLUSÕES

A partir do trabalho realizado, constatou-se que é possível estimar, com segurança, o volume de espécies nativas, através de equações de volume ou do fator de forma.

Apesar das estimativas estatisticamente iguais, as equações de volume são preferíveis ao fator de forma por propiciarem estimativas médias com menores erros percentuais em relação a média verdadeira.

Apesar de propiciarem estimativas estatisticamente iguais as equações de volume

TABELA 14 - Equações do povoamento com suas respectivas medidas de precisão.

Modelo	Parâmetros Estimados				Medidas de Precisão	
	B ₀	B ₁	B ₂	B ₃	R ² (%)	Syx (%)
1	-9,680359	5,161806	-	-	87,9	11,4
2	44,733820	0,113505	-	-	86,8	11,9
3	37,596747	0,002144	-	-	48,3	23,8
4	14,110462	1,002489	-	-	81,8	14,0
5	47,773400	0,026540	-	-	89,4	10,7
6	6,939179	3,551288	0,036176	-	88,1	11,4
7	-8,477653	3,437553	0,328970	0,39975	91,3	9,7
8	-15,861444	0,002310	-	-	34,3	26,7
9	-42,079794	3,753695	-	-	47,5	23,9
10	32,049672	0,046195	-	-	44,8	24,5
11	54,312669	0,007476	-	-	37,6	26,0
12	1,330905	1,068888	-	-	89,9	11,5
13	1,330905	0,153409	-	-	89,9	11,5
14	-2,012900	0,642948	-	-	51,7	23,7
15	-1,383212	0,448908	-	-	74,0	18,0
16	0,819115	0,504245	-	-	92,9	10,1
17	0,768814	0,861886	-	-	86,3	14,3
18	0,009492	0,527014	-	-	45,7	25,7
19	-8,218341	1,181671	-	-	38,1	26,9

por espécie (pelo menos para as de maior importância para a floresta) são preferíveis a uma única equação para toda a população.

Com relação ao fator de forma, tanto faz utilizar aquele gerado para espécie em particular ou para todo o grupo que compõem a floresta.

A opção da equação do povoamento é extremamente interessante quando o volume por unidade de área é desejado, dada a sua simplicidade, eficiência e baixos custos nos inventários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FIGUEIREDO, A.F.; MACHADO, S.A.; ROSOT, N.C. Estimativas volumétricas por unidade de área em florestas naturais. *Silvicultura*, São Paulo, V.16, N.1, 491-504, set, 1982. (Anais do Congresso Brasileiro sobre Essências Nativas).
- FREESE, F. *Linear regression methods for forest research*. U.S. Forest Service Research Note FPL-17, 1964, 136p.
- GOLFARI, L. *Levantamento ecológico de Minas Gerais para reflorestamento*. Belo Horizonte: EMBRAPA/CPRFC, 1975. n.3, 65p.
- JORGE, L.A.B. Equação de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo. *Silvicultura*, São Paulo, v.16, n.1, 456-467, set, 1982. (Anais do Congresso Brasileiro sobre Essências Nativas).
- LEITE, H.G.; REGAZZI, A.J. Métodos estatísticos para avaliar igualdade de equações volumétricas. *Revista Árvore*, Viçosa, v.16, n.1, p.59-71, 1992.
- OLIVEIRA-FILHO, A.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de; Composição florística e estrutura comunitária de um remanescente de floresta semidecídua montana em Lavras, MG, *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v.17, n.2, p.169-184, 1994.
- ROSOT, M.A.D. *Estudo comparativo de métodos para avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de Pinus taeda L.* Curitiba: UFPr, 1989. (Tese de Mestrado).
- SCOLFORO, J.A.S. *Mensuração florestal; módulo 3: Relações quantitativas em volume, peso e a relação hipsométrica*. Lavras:ESAL/FAEPE, 1993. 292p.
- SCOLFORO, J.R.S.; SILVA, S.T. da; LIMA, J.T. de. Equações de biomassa e volume para cerrado sensu stricto. In: VII Congresso Florestal Brasileiro e I PAN AMERICANO, 1, Curitiba, 1993. *Anais...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p.508-510, 1993.
- SILVA, J.A. *Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamentos de Eucalyptus spp nos cerrados em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul*. Curitiba:UFPr, 1979. (Tese de Mestrado).
- SOUZA, A.L.; JESUS, R.M. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. *Revista Árvore*, Viçosa, v.15, n.3, p.257-273, 1991.