

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA PARTINDO DO DIÂMETRO DA CEPA EM UMA
ÁREA EXPLORADA DE FLORESTA AMAZÔNICA DE TERRA FIRME**
ESTIMATE OF WOOD VOLUME DEPARTING FROM THE DIAMETER AT STUMP HEIGHT IN
AN EXPLOITED AREA IN "TERRA FIRME" AMAZON FOREST

Flávia Saltini Leite¹ Alba Valéria Rezende²

RESUMO

O objetivo deste estudo foi estimar o volume de árvores de uma floresta tropical de terra firme, considerando apenas o diâmetro da cepa (d_0) como variável independente. A área de estudo está localizada no município de Breu Branco, PA. Um total de 113 árvores com DAP = 51 cm, pertencentes a diferentes espécies e classes de diâmetro, foram cubadas rigorosamente. A cubagem rigorosa foi feita pelo método de Hohenadl, considerando a divisão do tronco comercial em dez seções de comprimentos iguais e o cálculo do volume de cada seção da tora foi feito pela fórmula de Smalian. Equações de volume foram ajustadas para estimar o volume comercial das árvores em função de d_0 e também em função do DAP, para efeito de comparação. Os resultados mostraram que d_0 apresentou boa relação com o volume comercial de árvores em floresta de terra firme, e pode ser utilizado no ajuste de modelos matemáticos visando a estimar o volume comercial de árvores. Não foi observada diferença significativa entre os valores reais de volume comercial de árvores e os volumes estimados, gerados partindo de uma equação linear ajustada em função de d_0 , demonstrando que é possível obter com precisão, informações de volume partindo de d_0 .

Palavras-chave: Floresta Amazônica; equações volumétricas; diâmetro da cepa; fiscalização de desmatamento.

ABSTRACT

This research aimed to estimate the volume of trees of a "terra-firme" tropical forest, considering only the diameter at stump height (d_0), as independent variable. The area being studied is located in Breu Branco, Pará. A total of 113 trees with DBH = 51 cm, of different species and diameter classes, were selected to determine the observed cubic volume of the commercial trunk. The trees were rigorously cubed by the method of Hohenadl considering the division of the commercial trunk in ten sections of equals lengths, and the volume of each section of the trunk was determined by the Smalian formula. Equations were adjusted to estimate the commercial volume of the trees in function of d_0 and in function of DBH, for comparisons. Results showed that d_0 had a high correlation with the commercial volume of trees within the area of forest of "terra firme" and it can be used for the adjustment of mathematical models in order to estimate the commercial volume of trees. No significant difference between the observed and the estimated volume of trees – generated by the adjusted linear equation in function of d_0 – was found.

Keywords: Amazon Forest; volume equations; diameter at stump height; surveillance of deforestation.

1. Engenheira Florestal, Mestre em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília, Caixa Postal 04357, CEP 70910-900, Brasília (DF). fsaltini@yahoo.com

2. Engenheira Florestal, Dr^a, Professora do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Caixa Postal 04357, CEP 70910-900, Brasília (DF). albavr@unb.br

Recebido para publicação em 11/08/2008 e aceito em 10/11/2009.

INTRODUÇÃO

O modelo de uso predatório da Floresta Amazônica já resultou em mais de 50 milhões de hectares de área desmatada (HIGUCHI, 2000), sendo que cerca de 80% da área desmatada é considerada ilegal (GREENPEACE, 1999; FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL *et al.*, 2006).

O aumento contínuo da população e as pressões econômicas resultam, inexoravelmente, no desmatamento e na fragmentação florestal. A exploração predatória, as queimadas e os incêndios têm sido uma constante ameaça à conservação do patrimônio florestal brasileiro e ao uso sustentável de seus recursos, e colocam igualmente em risco a conservação do solo, dos recursos hídricos, da biodiversidade e do equilíbrio climático, os quais dependem da preservação e do bom uso de nossas florestas. Além disso, tais formas de impacto catalisam o empobrecimento econômico e social da região a médio e longo prazo.

Na tentativa de controlar esse desmatamento desordenado, tem-se intensificado o controle ambiental partindo do fortalecimento da fiscalização e estímulo à adoção de tecnologias sustentáveis de manejo florestal.

Alguns procedimentos de fiscalização são feitos ao se verificar atividades de desmatamento, manejo e transporte de produtos florestais. Quando constatada alguma irregularidade, os agentes lavram o auto de infração, no caso de extração ilegal de madeira procede-se a medição da área atingida, em hectare, ou mede-se (cubagem) o produto florestal no local. Contudo, para o caso de áreas onde tenha ocorrido um desmatamento ilegal e não se têm informações sobre o destino da madeira colhida, a fiscalização ainda não possui uma maneira confiável de estimar o volume de madeira que existia no local e que foi retirada pela exploração. Tal fato inviabiliza o cálculo da multa de forma precisa. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho é desenvolver modelos matemáticos para estimativa de volume de árvores em áreas da Floresta Amazônica que foram desmatadas e que a única prova do desmatamento é a presença de tocos ou cepas provenientes das árvores colhidas.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na Floresta Amazônica, em uma porção de vegetação classificada

como floresta de terra firme da Fazenda Água Azul I, pertencente à empresa Izabel Madeiras do Brasil Ltda (IBL), localizada no município de Breu Branco (PA). As coordenadas geográficas da área estudada encontram-se entre os pontos 03° 29' 07,5" de latitude norte e 049° 19' 32,8" de longitude oeste e 03° 26' 53,9" de latitude norte e 049° 19' 31,8" de longitude oeste.

O clima da região é classificado como tipo Ami segundo classificação de Köppen (DINIZ, 1986; citado por GALLETTI, 2003), caracterizado por uma precipitação anual em geral superior a 2.000 mm. Existe uma curta estação seca, na qual o total de chuvas é inferior a 60 mm por mês. Durante o ano existem dois períodos bem definidos, um nitidamente marcado por fortes chuvas que inicia em janeiro e prolonga-se até o final de maio e outro caracterizado por uma estação mais quente e menos chuvosa, indo de junho a dezembro. A umidade relativa é sempre alta, em média 80%. As temperaturas médias mensais apresentam pouca variação durante o ano, ficando na faixa de 25 a 26°C.

Os solos predominantes na região são os Latossolos Amarelos Distróficos, de textura média e argilosa, em relevo plano, suave ondulado e ondulado (BRASIL, 1974; citado por GALLETTI, 2003).

A Floresta Ombrófila Densa (floresta de terra firme) em relevo plano é um dos ambientes fitoecológicos identificados na Fazenda Água Azul I (GALLETTI, 2003), a qual é caracterizada por apresentar uma vegetação sempre-verde, com árvores de folhas perenes e raramente caducifólias.

A área de estudo teve o seu plano de manejo vistoriado e autorizado pelo IBAMA, sendo permitido o corte anual de 20 m³/ha e um ciclo de corte de 30 anos. A Fazenda possui cerca de 12.000 ha de efetivo manejo e a unidade de produção anual é de 1.500 ha.

Coleta dos dados

Para atender a este estudo foi realizada a cubagem rigorosa de 113 árvores com DAP = 51 cm, pertencentes a diferentes espécies e classes de diâmetro. A escolha dessas árvores se deu em função do Plano de Manejo da empresa, o qual foi autorizado pelo IBAMA em 2006.

Inicialmente as árvores selecionadas para a cubagem foram localizadas em campo e marcadas. Em seguida, foi feito o "teste do oco" em cada uma das árvores selecionadas, num ponto superior ao limite de aproveitamento da tora para serraria (entre 30 e 50 cm de altura acima do nível do solo). Quando o

“teste do oco” não detectava a presença de oco na árvore, o seu DAP era registrado e essa era considerada boa para o abate. Caso contrário, a árvore não era abatida, sendo mantida na área.

Todas as árvores consideradas boas para o abate foram abatidas na altura da cepa, entre 20 e 50 cm de altura, independente da presença de sapopema. Após o abate era realizada a limpeza do tronco (retirada de resíduos de outras árvores que caem em cima, cipós, galhos quebrados etc).

Na sequência, os motosserristas indicavam no mapa, a direção real de queda para orientar a equipe de planejamento e de arraste e, as alturas comercial e total de cada árvore eram registradas e os galhos separados do tronco.

As toras abatidas receberam o mesmo número de identificação do inventário, acrescidas de letras do alfabeto (ex. a, b, c), no caso do tronco ter sido dividido em mais de uma tora. Tal procedimento visava a facilitar o controle da cadeia de custódia.

Todas as árvores abatidas foram cubadas rigorosamente pelo método de Hohenadl, considerando a divisão do tronco comercial em dez seções de comprimentos iguais (Figura 1). O cálculo do volume de cada seção da tora foi obtido tomando por base a fórmula de Smalian. Essa metodologia foi sugerida pelo pesquisador Niro Higuchi que coordena as pesquisas em silvicultura tropical do INPA e vem sendo aplicada por ele em regiões de floresta Amazônica.

Os diâmetros de cada seção do tronco foram medidos com sutas de 80 cm e 100 cm. No caso de seções com diâmetros superiores a 100 cm foi utilizada uma trena para medir a circunferência. Valores de circunferência foram posteriormente transformados para diâmetro. O comprimento das seções foi medido com o auxílio de uma trena.

O diâmetro da cepa (d_0) foi medido na base da seção de corte e no caso das árvores com sapopema, o d_0 foi medido 30 cm acima de sua interferência. Considerou-se como altura da cepa, a medida do local de corte até o solo e altura comercial (h_c) a medida da base de corte da árvore até a primeira inserção significativa de galhos.

Durante a coleta de dados foram detectadas várias árvores com sapopemas grandes, muitas formando cepas muito irregulares, de difícil extrapolação para um cilindro. No caso dessas árvores, para efeito da cubagem rigorosa, além de se tomar o diâmetro da cepa a 30 cm acima da interferência da sapopema, foi realizada também a medição do diâmetro da cepa em duas outras posições, sendo projeção da raiz/sapopema da cepa, próximo ao solo, e a segunda medida da projeção da parte superior da cepa com sapopema, na altura do abate, como demonstrado nas Figuras 2 e 3.

A decisão em se medir os diâmetros das cepas tanto ao nível do solo, ou seja, na projeção da cepa/sapopema no nível do solo, quanto na altura do corte, ou seja, na parte superior da cepa, incluindo as catanas, foi em função do fato da cepa ser a única parte do tronco que permanece no campo após o corte e retirada da árvore do local e também pelo fato da cepa poder servir de fonte de informação para tentar estimar o volume real da árvore colhida, quando ocorrer uma perícia no local.

A expectativa era de que os diâmetros coletados nessas duas posições da cepa fossem altamente correlacionados com o volume comercial da árvore, permitindo assim obter estimativas precisas do volume, para árvores individuais da Floresta Amazônica, partindo do diâmetro da cepa, que é o objetivo principal desta pesquisa. Além disso, a expectativa era também de encontrar diferentes opções

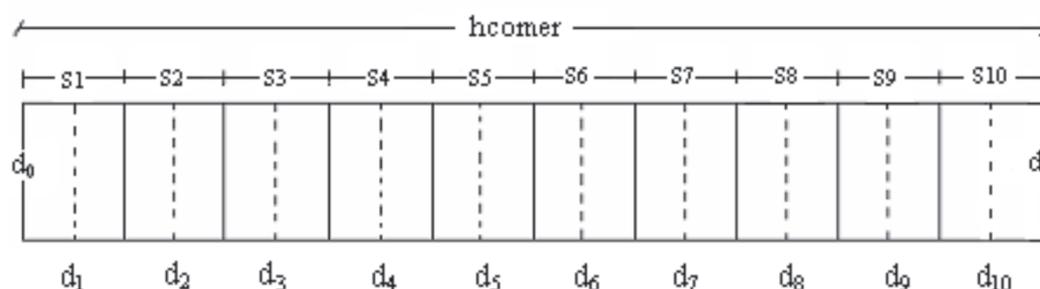


FIGURA 1: Divisão do tronco comercial (h_{comer}) em dez seções pelo método de Hohenadl (S_1 a S_{10}), localização dos dez diâmetros medidos, do diâmetro da cepa (d_0) e do diâmetro da ponta (d_p).

FIGURE 1: Commercial trunk divided into 10 sections by the Hohenadl method (S_1 to S_{10}), location of the ten measured diameters, from the stump height diameter (d_0) to the diameter of its edge (d_p).

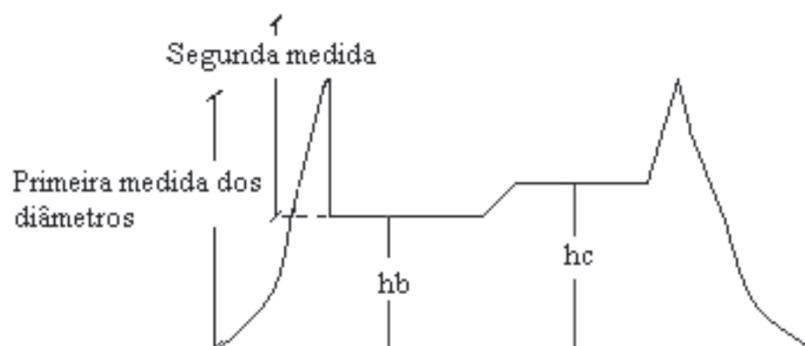


FIGURA 2: Demonstrativo das projeções de medidas dos diâmetros das cepas e da posição de medida das alturas da boca (hb) e da cepa (hc).

FIGURE 2: Projection of the measurements of the diameters at stump height and the position of both the cut measurement height (hb) and the diameters at stump height (hc).

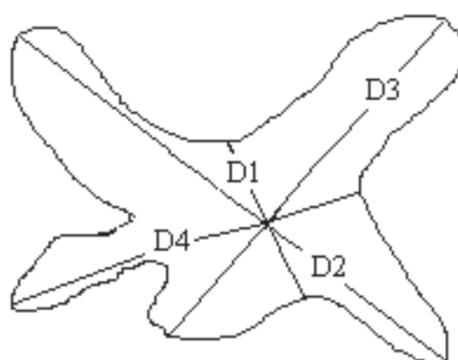


FIGURA 3: Esquema da vista superior de uma cepa com exemplos de posições utilizadas para medir quatro diâmetros.

FIGURE 3: View of a trunk leftover from above, and examples of positions used to measure the diameters.

de se obter um diâmetro que fosse representativo para as cepas irregulares, buscando assim atender às várias situações em que um fiscal poderia encontrar as cepas em campo, durante uma perícia, como por exemplo, cepas destruídas em função da ação do tempo, ou da ação de cupins, fungos ou mesmo por causa de danos causados por equipamentos de arraste.

Assim, em cada uma das duas posições escolhidas para medição do diâmetro da cepa, foram tomadas várias medidas de diâmetro desta, visando a obter com maior precisão um diâmetro médio, que fosse representativo de cada posição. Para algumas árvores, chegou-se a tomar de três a cinco medidas de diâmetro em cada posição da cepa, sempre procurando abranger todas as variações possíveis (diâmetros grandes, médios e pequenos). Em seguida era obtida a média desses diâmetros, para representar o diâmetro da cepa.

Para garantir maior precisão nas medidas, as projeções foram feitas com o auxílio de duas varas de um metro de altura cada, colocadas em direções

opostas e seguradas por duas pessoas enquanto outra pessoa media as distâncias (diâmetros) com uma trena. Após medir os diâmetros, media-se a altura da cepa (hc) e da boca de corte (hb).

Análise dos dados

Partindo dos dados de volume real das árvores cubadas foi realizado o ajuste de diferentes modelos volumétricos selecionados para estimar o volume comercial em metros cúbicos por árvore.

No total foram cubadas 113 árvores. Destas, noventa árvores foram utilizadas para o ajuste dos modelos e o restante, vinte e três árvores, foram utilizadas na validação do modelo selecionado.

Para atender aos objetivos deste estudo, foram utilizados modelos volumétricos ajustados em função do diâmetro da cepa (d_0). Contudo, foram também ajustados modelos volumétricos em função do DAP, por serem modelos mais comumente usados para espécies arbóreas da Floresta Amazônica, por causa

da alta correlação entre o DAP e o volume comercial das árvores. O objetivo de ajustar modelos volumétricos partindo do DAP foi de avaliar a eficiência de uma equação volumétrica gerada em função do d_0 em relação a uma equação volumétrica gerada em função do DAP.

A Tabela 1 apresenta o conjunto de modelos volumétricos ajustados para estimar o volume comercial das árvores na área de estudo, em função do diâmetro (d_0 ou DAP).

Observa-se na Tabela 1 que três modelos são lineares e dois não lineares. Alguns já foram testados por Higuchi e Ramm (1985) na Amazônia Central, por Higuchi (1992) na Floresta Amazônica e por Rolim *et al.* (2006). Os modelos foram ajustados independente da espécie.

A seleção de variáveis significativas para geração de equações foi feita retirando-se aquelas que não apresentaram nível de significância $p = 0,05$.

A presença de outliers foi analisada, isto é, o caso de valores observados que diferem em demasia

selecionadas 63 árvores de um total de 78 que tinham essa característica. Com base nos dados coletados foi obtido um fator de estimação médio que permitisse calcular o d_0 partindo do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) e do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte (\bar{D}_{cc}).

Para obtenção do fator que estima o diâmetro da cepa partindo do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo foi adotada a seguinte relação:

$$F_{cs} = \frac{d_o}{\bar{D}_{cs}} \quad (1)$$

Em que: F_{cs} = fator de estimação do diâmetro da cepa em função do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo; d_o = diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema; \bar{D}_{cs} = diâmetro médio da cepa em cm tomado ao nível do solo.

Para obter o fator de estimação do diâmetro

TABELA 1: Modelos volumétricos testados para estimar volume comercial em função do diâmetro da cepa (d_0) e também para estimar volume comercial em função do DAP das árvores de uma floresta de terra firme localizada no município de Breu Branco (PA).

TABLE 1: Volumetric models used to estimate the commercial volume as a function of both the diameter at stump height (d_0) and the trees DBH within the forest located in Breu Branco, (PA).

Modelos	Autores
$V = b_0 + b_1 \cdot d + \varepsilon$	Berkhout modificado
$V = b_0 + b_1 \cdot d + b_2 \cdot d^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn modificado
$V = b_0 + b_1 \cdot d^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhdt modificado
$V = b_0 \cdot d^{b_1} \cdot 10^{b_2/d} + \varepsilon$	Brenac modificado
$V = b_0 \cdot d^{b_1} + \varepsilon$	Husch modificado

Em que: V = volume comercial em m^3 ; d = diâmetro da cepa (d_0); b_i = coeficiente de regressão; ε = erro da equação.

dos outros valores que compõem a amostra, causando um erro discrepante da média dos erros. A ocorrência de outliers foi checada cuidadosamente e, quando necessário, o outlier foi retirado do conjunto de dados.

As medidas de precisão utilizadas na seleção do melhor modelo volumétrico (DRAPPER e SMITH, 1981), considerando cada variável analisada, foram: a) coeficiente de determinação (R^2); b) erro-padrão da estimativa, expresso em percentagem ($S_{yx}\%$), sendo, nesse caso, interpretado de forma análoga ao coeficiente de variação; e c) distribuição gráfica dos resíduos.

Para estimar o diâmetro da cepa (d_0) das árvores que apresentaram cepas com formas irregulares (presença de sapopema), foram

da cepa, partindo do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte, foi adotada a seguinte relação:

$$F_{cc} = \frac{d_o}{\bar{D}_{cc}} \quad (2)$$

Em que: F_{cc} = fator de estimação do diâmetro da cepa em função do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte; d_o = diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema; \bar{D}_{cc} = diâmetro médio da cepa em cm tomado na altura do corte.

Com base nos fatores de estimação dos diâmetros das cepas (F_{cs} e F_{cc}) de cada árvore, foi calculado um fator de estimação médio para cada

situação (\bar{F}_{cs} e \bar{F}_{cc}).

Também foram geradas equações matemáticas para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa. Tais modelos utilizaram como variável independente o diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo ou diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte. Os modelos matemáticos testados para estimar o fator de estimação encontram-se na Tabela 2.

A significância das variáveis independentes

TABELA 2: Modelos matemáticos testados para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa.

TABLE 2: Mathematical models used to estimate the estimation factor of the diameter at stump height.

Modelos	Autores
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci} + \varepsilon$	Berkhout modificado
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci} + b_2 D_{ci}^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn modificado
$F_{ci} = b_0 + b_1 D_{ci}^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhdt modificado
$F_{ci} = b_0 \cdot D_{ci}^{b_1} \cdot 10^{b_2/D_{ci}} + \varepsilon$	Brenac modificado
$F_{ci} = b_0 \cdot D_{ci}^{b_1} + \varepsilon$	Husch modificado

Em que: F_{ci} = Fator de estimação do diâmetro da cepa, podendo ser ou em função do diâmetro da cepa tomado ao nível do solo (F_{cs}) ou em função do diâmetro da cepa tomado na altura do corte (F_{cc}); D_{ci} = diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) ou diâmetro médio da cepa tomado a altura do corte (\bar{D}_{cc}); b_i = coeficiente da regressão; ε = erro da equação.

nos modelos testados foi avaliada, sendo considerada significativa a variável que apresentasse um nível de significância $p = 0,05$.

A seleção do melhor modelo ajustado foi baseada nos critérios de seleção apresentados anteriormente, para os modelos volumétricos. Partindo do modelo selecionado foi calculado o fator de estimação do diâmetro da cepa por árvore para, posteriormente, obter o diâmetro da cepa estimado.

Para validar a precisão das equações selecionadas neste estudo, tanto para estimar o volume comercial em função de d_0 , quanto para estimar o diâmetro da cepa de árvores com cepas muito irregulares, foi aplicado o teste t para dados pareados (CAMPOS E LEITE, 2002). No caso da estimativa de d_0 , foram utilizadas para validação do modelo selecionado, 15 árvores com cepas irregulares, que não foram utilizadas no ajuste dos modelos. Dessa forma os valores reais de d_0 (diâmetro da cepa em cm, tomado a 30 cm acima da interferência da sapopema) das 15 árvores selecionadas foram comparados com os valores de d_0 estimados com base nos valores de \bar{F}_{cs} e \bar{F}_{cc} já definidos anteriormente e dos valores de d_0 estimados a partir das equações selecionadas para estimar F_{cc} e F_{cs} . O objetivo era

verificar se o diâmetro da cepa (d_0) das árvores com cepa de formas irregulares era diferente ou estatisticamente igual ao diâmetro da cepa estimado tanto pelo fator de estimação médio quanto pelo fator de estimação gerado a partir de equações matemáticas.

Após este teste, resolveu-se também comparar os resultados obtidos pela equação de volume selecionada neste estudo para estimar o volume comercial tomando por base o diâmetro da cepa (d_0) utilizando os diâmetros das cepas estimados

com os fatores de estimação, comparando com os valores de volume comercial. O objetivo era verificar se o volume obtido pela equação selecionada para d_0 , calculada com os diâmetros das cepas estimados das árvores com cepa de formas irregulares era diferente ou estatisticamente igual ao volume observado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa do volume comercial

Na Tabela 3, encontram-se os resultados das equações ajustadas para estimar o volume comercial partindo do diâmetro da cepa. Observa-se que os valores de coeficiente de determinação variaram de 75,04 a 77,05%. Os valores de erro-padrão variaram, respectivamente, de 21,65 a 22,58%.

Observa-se na Tabela 3 que todos os modelos estudados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, confirmando a existência da regressão. As equações ajustadas apresentaram medidas de precisão bastante similares, embora as equações $V = b_0 + b_1 d$ (modelo de Berkhout modificado) e $V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$, tenham se destacado. Entretanto, como a segunda equação possui o coeficiente “ b_2 ” não significativo ($p > 0,05$), ou seja, a variável “ d^2 ” não

TABELA 3: Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do diâmetro da cepa, para uma área de floresta de terra firme.

TABLE 3: Parameters estimators and statistics of the adjusted equations to estimate commercial volume of trees as a function of the stump height diameter for the forest of “terra firme”.

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{ajust (%)}	Syx	Syx%
V = b ₀ + b ₁ d	-9,7038	0,2280	-	77,05	1,8599	21,65
V = b ₀ + b ₁ d + b ₂ d ²	-11,4965	0,2688	-0,0002ns	76,83	1,8686	21,75
V = b ₀ + b ₁ d ²	0,4867	0,0012	-	75,04	1,9395	22,58
V = b ₀ .d ^{b₁} .10 ^{b₂/d}	0,0026	1,8494	-0,7547	75,76	1,9330	22,50
V = b ₀ .d ^{b₁}	0,0025	1,8511	-	75,74	1,9232	22,39

Em que: V = volume comercial em m³; d = diâmetro da cepa (d₀); b_i = coeficiente de regressão; R²_{ajust (%)} = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx = erro padrão da estimativa; ns = coeficiente não significativo (p > 0,05).

está contribuindo significativamente para o aumento da precisão da equação, esta pode ser retirada do modelo fazendo com que tal equação se equivalha à equação ajustada para o modelo de Berkhout modificado.

A Figura 4 apresenta os gráficos de resíduos gerados com base nas equações ajustadas. Nota-se que o comportamento da distribuição de resíduos é muito semelhante para todos os modelos ajustados. Os resíduos apresentaram uma distribuição mais homogênea nas classes de diâmetro que mais concentram indivíduos, ou seja, entre 64 a 84 cm.

Observa-se uma pequena tendência de super e subestimação do volume conforme aumentou as medidas de d₀. Vários fatores podem explicar esta tendência, como por exemplo, a variabilidade do d₀ versus o volume decorrente tanto da diversidade de espécie, quanto da diversidade de formas e tamanhos, comum em florestas nativas. No entanto, essa tendência não inviabiliza o uso das equações estudadas, permanecendo a equação V = -9,7038 + 0,2280d₀ como a melhor e indicada por esta pesquisa.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ajustes das equações que estimam o volume comercial das árvores em função apenas da variável DAP. Observa-se que as equações ajustadas com essa variável apresentaram coeficientes de determinação relativamente altos que variaram de 76,51% a 77,37%. Os valores do erro padrão residual foram relativamente baixos variando de 21,50 a 22,02%.

Considerando a variável independente DAP, recomenda-se o uso da equação V = -10,5540+0,2400d ajustada com base no modelo de Berkhout.

O DAP é uma das variáveis mais usadas em estudos realizados na Floresta Amazônica. Sua importância é observada em vários estudos como, por exemplo, o de Menezes e Silva (2003), que teve como objetivo melhorar a precisão de estimativas volumétricas da Amazônia brasileira, obtendo equações de volume, para uma floresta no estado do Pará, ajustadas partindo de modelos matemáticos em função apenas do DAP. Segundo esses autores, os coeficientes de determinação encontrados, embora não tão altos, explicam entre 60 e 70% da variação do volume, e estão bem acima daqueles observados para equações determinadas para diversas espécies e regiões da Amazônia. Menezes e Silva (2003) escolheram a equação ajustada tomando por base o modelo de Kopezki-Gehardt (V = b₀ + b₁d²) por possuir 71,24% de coeficiente de determinação e erro de 28,90%, valores esses, inferiores aos obtidos no presente estudo com o mesmo modelo (Tabela 3 e 4) utilizando DAP ou d₀.

O resultado da validação para a equação selecionada indicou com 95% de confiança que a equação selecionada (V = -9,7038 + 0,2280.d₀) estima bem os volumes comerciais, se aproximando dos valores de volume observados. A equação desenvolvida demonstrou que sua resposta aos dados levantados é compatível com os dados de campo, motivo esse que se reafirma a recomendação para o uso dessa equação.

Outro resultado de grande importância, foi comprovado com 95% de confiança que o volume estimado utilizando a variável independente “d₀” é estatisticamente igual ao volume estimado com DAP, ou seja, a equação de volume não perderá em precisão

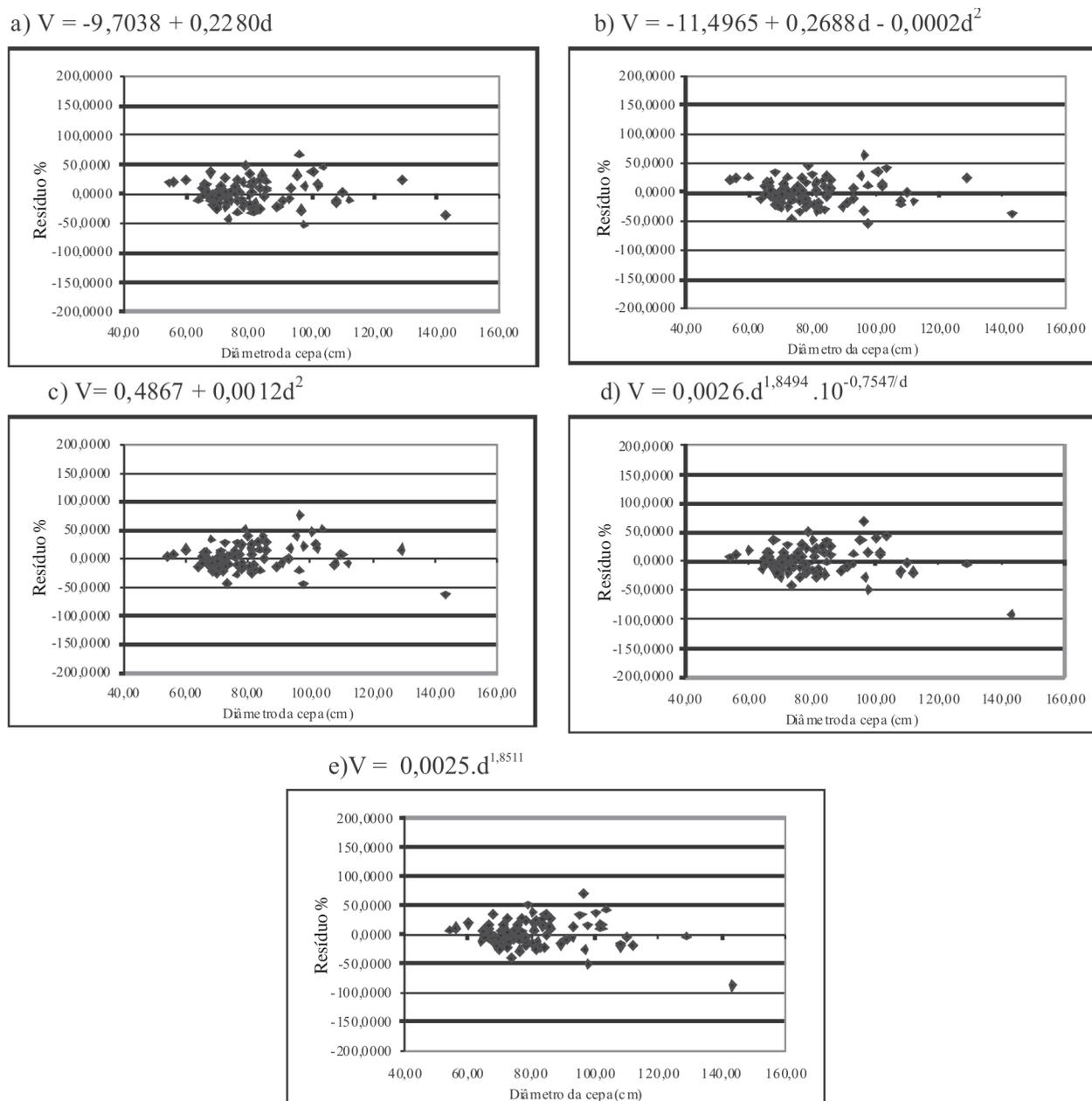


FIGURA 4: Distribuição dos resíduos em porcentagem em função do diâmetro da cepa (d) em cm, para as equações estudadas.

FIGURE 4: Residuals distribution in percentage as a function of the diameter at stump height (d) in cm, for the studied equations.

ao utilizar o “ d_0 ”.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos ajustes das equações testadas para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa partindo do diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (\bar{D}_{cs}) e do diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte (\bar{D}_{cc}) respectivamente.

Observa-se pelos resultados apresentados nas

Tabelas 5 e 6 que todas as equações ajustadas apresentaram boa precisão. As equações ajustadas para estimar os valores de F_{cs} apresentaram coeficientes de determinação variando de 47,12 a 79,28% e valores de erro-padrão residual variando de 14,16 a 22,45%. No caso das equações ajustadas para estimar F_{cc} , os valores de coeficiente de determinação variaram de 52,88 a 73,25%, enquanto os valores de erro-padrão residual variaram de 13,68

TABELA 4: Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o volume comercial de árvores em função do DAP, para uma área de floresta de terra firme.

TABLE 4: Parameter estimators and statistics of the adjusted equations to estimate commercial volume of trees as a function of DBH for a forest of "terra firme".

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{ajust (%)}	Syx	Syx%
V = b ₀ + b ₁ d	-10,5540	0,2400	-	77,37	1,8469	21,50
V = b ₀ + b ₁ d + b ₂ d ²	-9,2607	0,2099ns	0,0002ns	77,13	1,8568	21,62
V = b ₀ + b ₁ d ²	-0,1188	0,0013	-	76,51	1,8817	21,90
V = b ₀ .d ^{b₁} .10 ^{b₂/d}	0,0017	1,9550ns	-0,9211ns	76,80	1,8914	22,02
V = b ₀ .d ^{b₁}	0,0015	1,9745	-	76,77	1,8817	21,90

Em que: V = volume comercial em m³; d = DAP; b_i = coeficiente de regressão; R²_{ajust (%)} = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx = erro-padrão da estimativa. ns = coeficientes não significativos (p > 0,05).

a 17,97%.

Baseando-se nos valores de R² e S_{yx} de cada equação, pode-se observar que as equações $F_{cs}^{yx} = b_0 \cdot d^{b_1}$ e $F_{cc} = b_0 \cdot d^{b_1}$, em que d representa, respectivamente, \bar{D}_{cs} e \bar{D}_{cc} , foram as equações que apresentaram melhores medidas de precisão, embora outras tenham apresentado valores bastante próximos. Partindo das equações selecionadas para estimar F_{cs} e F_{cc}, foram obtidos os valores estimados de diâmetro da cepa para as 15 árvores selecionadas para a validação dos modelos.

O diâmetro da cepa real e estimado partindo das equações de F_{cs} e F_{cc} foram comparados pelo teste de t para dados pareados, conforme anteriormente apresentado.

Os resultados da aplicação do teste mostraram que o diâmetro da cepa estimado partindo

da equação de F_{cs}, ou seja, gerado a partir de (\bar{D}_{cs}), não difere significativamente ao nível de 5% de significância do valor real do diâmetro da cepa (d₀) que foi medido na cubagem rigorosa.

O fator de estimação médio para estimar o diâmetro da cepa foi calculado ($\bar{F}_{cs} = 0,4394$) e, em seguida, utilizado para estimar o diâmetro da cepa de cada uma das árvores selecionadas para a validação do fator. Observou-se que os valores de diâmetro da cepa estimados partindo desse fator médio, não diferiram significativamente dos valores reais de diâmetro da cepa ao nível de 5% de significância.

Portanto, para estimar o valor real do diâmetro da cepa da área estudada pode ser usado tanto o fator de estimação do diâmetro da cepa estimado partindo da equação selecionada quanto um

TABELA 5: Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa com base na variável diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (F_{cs}), para uma área de floresta de terra firme.TABLE 5: Parameter estimators and statistics of the adjusted equations to estimate diameter at stump height from the average diameter measured at the soil level (F_{cs}), for a forest of "terra firme".

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b ₀	b ₁	b ₂	R ² _{ajust (%)}	Syx	Syx%
Fcs = b ₀ + b ₁ d	0,7297	-0,0015	-	63,62	0,0818	18,62
Fcs = b ₀ + b ₁ d + b ₂ d ²	1,0313	-0,0042	5,14E-06	76,22	0,0661	15,05
Fcs = b ₀ + b ₁ d ²	0,5434	0,0000	-	47,12	0,0986	22,45
Fcs = b ₀ .d ^{b₁} .10 ^{b₂/d}	53,1940	-0,9185	-3,1774ns	79,28	0,0628	14,28
Fcs = b ₀ .d ^{b₁}	40,3335	-0,8733	-	79,28	0,0623	14,16

Em que: F_{cs} = fator de estimação do diâmetro da cepa partindo da variável diâmetro médio da cepa tomado ao nível do solo (d); b_i = coeficiente de regressão; R²_{ajust (%)} = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx = erro-padrão da estimativa. ns = coeficientes não significativos (p > 0,05).

TABELA 6: Estimadores dos parâmetros e medidas de precisão das equações ajustadas para estimar o fator de estimação do diâmetro da cepa partindo da variável diâmetro da cepa tomado ao nível do corte (F_{cc}), para uma área de floresta de terra firme.

TABLE 6: Parameter estimators and statistics of the adjusted equations to estimate diameter at stump height from the diameter measured at the cut level (F_{cc}), for a forest of "terra firme".

Equações	Variável			Medidas de Precisão		
	b_0	b_1	b_2	$R^2_{ajust(\%)}$	Syx	Syx%
$F_{cc} = b_0 + b_1d$	0,9341	-0,0025	-	65,08	0,0857	15,47
$F_{cc} = b_0 + b_1d + b_2d^2$	1,2365	-0,0061	9,819E-06	71,66	0,0772	13,94
$F_{cc} = b_0 + b_1d^2$	0,7039	0,0000	-	52,88	0,0996	17,97
$F_{cc} = b_0 \cdot d^{b_1} \cdot 10^{b_2/d}$	134,5668	-1,0625	-14,1317ns	73,25	0,0763	13,76
$F_{cc} = b_0 \cdot d^{b_1}$	32,0634	-0,8208	-	73,12	0,0758	13,68

Em que: F_{cc} = fator de estimação do diâmetro da cepa partindo da variável diâmetro médio da cepa tomado ao nível do corte (d); b_i = coeficiente de regressão; $R^2_{ajust(\%)}$ = coeficiente de determinação ajustado em porcentagem; Syx = erro-padrão da estimativa. ns = coeficientes não significativos ($p > 0,05$).

fator de estimação médio do diâmetro da cepa. Além disso, os dois fatores estimados foram considerados estatisticamente iguais pelo teste t com 5% de significância.

Para o caso do uso da equação que estima o F_{cc} , que irá estimar o diâmetro da cepa com base no diâmetro médio da cepa tomado na altura do corte (\bar{D}_{cc}), verificou-se pelo teste de t para dados pareados que os valores de diâmetro da cepa estimados com base nesse fator não diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância dos valores reais de diâmetro da cepa. Contudo, o fator de estimação médio usado para estimar o diâmetro da cepa das árvores ($\bar{F}_{cc} = 0,5542$) não foi significativo, pois os valores reais de diâmetro da cepa foram estatisticamente diferentes dos valores estimados a partir desse fator médio, pelo teste de t para dados pareados. Foi verificado também que os valores de diâmetro da cepa gerados partindo desse fator de estimação médio também diferem significativamente dos diâmetros da cepa estimados com base na equação que estima F_{cc} .

Os resultados mostram que as equações que estimam F_{cc} e F_{cs} podem ser utilizadas com precisão para estimar o volume comercial de árvores da floresta estudada, considerando que os valores de diâmetro da cepa estimados tomando por base essas equações não diferem dos valores observados.

O teste t para dados pareados que foi utilizado para validação da equação selecionada para estimar o volume comercial de uma árvore com base no diâmetro da cepa utilizando como variável independente os diâmetros da cepa estimados com \bar{F}_{cs} ,

F_{cs} estimado e F_{cc} estimado, indicou com 95% de confiança, que a equação utilizando o diâmetro da cepa calculada em função destas variáveis estima bem os volumes comerciais, se aproximando dos valores de volume obtidos com a cubagem rigorosa.

No entanto, esse mesmo teste aplicado para validação da equação selecionada para estimar o volume comercial de uma árvore partindo do diâmetro da cepa utilizando como variável independente os diâmetros da cepa estimados com \bar{F}_{cc} , indicou que a equação não estima bem os volumes comerciais. Isto é, o volume comercial de árvores com cepas irregulares obtido com o diâmetro da cepa calculado em função da equação de F_{cc} e F_{cs} , que geram o fator estimado do diâmetro da cepa em função de \bar{D}_{cc} e \bar{D}_{cs} , se equivale estatisticamente ao volume comercial obtido pela cubagem rigorosa bem como pelo diâmetro calculado em função do \bar{F}_{cs} .

CONCLUSÕES

É possível estimar o volume de árvores em áreas de floresta de terra firme que foram desmatadas ilegalmente e que não existe informações sobre o volume de madeira colhido, medindo-se apenas o diâmetro das cepas que ficaram na área após a exploração, ou no caso de cepas irregulares em consequência da presença de sapopemas, estimando o diâmetro da cepa com fator de estimação médio da população amostrada no caso de medido o \bar{D}_{cs} , ou estimando o diâmetro da cepa com base em uma

função matemática que utiliza como variável independente o \bar{D}_{cs} ou o \bar{D}_{cc} .

A precisão de equações volumétricas geradas tomando por base o diâmetro da cepa (d_0) se compara à precisão de equações volumétricas geradas somente em função do DAP, considerando um nível de significância de 5% pelo teste t.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 470p.
- DRAPPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York, John Wiley & Sons, 1981. 709p.
- FUNDAÇÃO FLORESTA TROPICAL, CIKEL E PRECIOUS WOOD. **Manejo Florestal Sustentável e Exploração de Impacto Reduzido na Amazônia Brasileira**. **Rev. Elo**. Disponível em: <<http://www.revistaelo.com.br/downloads/manejo-sustentavel.pdf>>. Acesso em: 21/09/2006.
- GALLETTI Compensados Ltda. **Plano de Manejo Florestal Sustentável (Reformulação do PMFS protocolado sob o número 02018005170/00-54)**. Breu Branco, PA. 2003. 37p.
- GREENPEACE. **Face a face com a destruição**: relatório Greenpeace sobre as companhias multinacionais madeireiras na Amazônia Brasileira. São Paulo: 1999. 21 p.
- HIGUCHI, N.; RAMM W. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). **Commonw**, 64 (1), 1985. 33 – 41p.
- HIGUCHI, N. **Amazônia Interesses e Conflitos - Manejo florestal na Amazônia**. 2000. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/amazonia/amaz13.htm>>. Acesso em: 20/10/2006.
- HIGUCHI, N. Usando o método “Jackknife” para estimar volume de madeira da floresta Amazônica. In: 24ª Reunião regional da associação brasileira de estatística – 12ª Semana do estatístico, 1992, Manaus. **Proceedings...** Manaus: ATAS, 1992. p.42–56.
- MENEZES, N. P.; SILVA, J. N. M. Equações de volume para florestas de terra firme nos municípios de Tailândia e Paragominas. In: **Seminário de Iniciação Científica da Ufra**, 1. Seminário de Iniciação Científica da Embrapa Amazônia Oriental, 7, Belém, PA. Resumos Expandidos. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia. 2003. 4p.
- ROLIM, S.G. *et al.* Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, 2006.