

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ONAIR MENDES DE OLIVEIRA

VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA DO MÉTODO DE PRESSLER
NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES EM PÉ

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2010

ONAIR MENDES DE OLIVEIRA

VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA DO MÉTODO DE PRESSLER
NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES EM PÉ

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO
2010

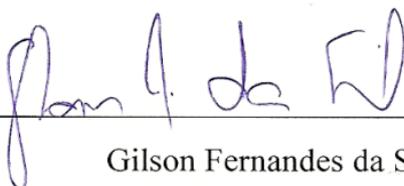
ONAIR MENDES DE OLIVEIRA

VERIFICAÇÃO DA ACURÁCIA DO MÉTODO DE PRESSLER
NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES EM PÉ

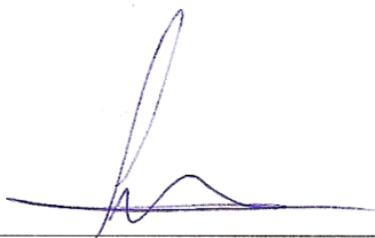
Monografia apresentada ao departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em...18... de...junho... de...2010.....

COMISSÃO EXAMINADORA



Gilson Fernandes da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Carlos Alberto Martinelli de Souza
Universidade Federal do Espírito Santo



Elter Martins dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo

À minha mãe, pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida.
A meu Pai, que sempre estará na minha memória. A todos meus irmãos pelo
companheirismo.

“...Fazer da interrupção um caminho
novo. Fazer da queda um passo de
dança, do medo uma escada, do sono
uma ponte, da procura um encontro”.

Fernando Sabino

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

A toda minha família, por tudo que significam.

Ao Professor Gilson Fernandes da Silva, pela orientação, paciência e companheirismo durante grande parte da minha formação acadêmica.

A toda “galera” do laboratório de mensuração e manejo florestal pela agradável convivência. Em especial ao Elter e ao Ronin pela enorme ajuda nos trabalhos de campo e nas coletas de dados.

A todos os amigos do “AlojaRoots” por tornarem a nossa casa em Alegre o lugar mais louco, excêntrico e engraçado do mundo.

A toda galera da Floresta 2006/1, pela convivência, paciência e amizade.

RESUMO

O Presente trabalho teve como objetivos: avaliar a acurácia do método de Pressler na estimativa do volume; testar a identidade de modelos estatísticos ajustados a partir dos dados de cubagem tradicional e método de Pressler. Os dados foram coletados num plantio homogêneo de *Tectona grandis* L.f. localizado no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES. A base de dados foi composta por 45 árvore-amostra que foram cubadas em pé através do seccionamento absoluto do tronco. As mesmas árvore-amostra foram cubadas através do método de Pressler. Primeiramente, através do teste F de Graybill, foram realizadas comparações, entre o volume obtido pelos métodos tradicional e método de Pressler. Em seguida, foram ajustados os modelos volumétricos de Schumacher-Hall e Spurr a partir do volume obtido nas duas situações, ou seja, método de Pressler e cubagem tradicional. Os modelos lineares ajustados para as duas situações foram submetidos a um teste de identidade de modelos no sentido de verificar a igualdade entre os parâmetros estimados, sendo neste caso utilizado o teste de Chow. Os modelos não lineares também foram submetidos a testes de identidade, no entanto devido a sua natureza foi utilizado o teste proposto por Regazzi. Os resultados dos testes mostraram haver similaridade entre o volume determinado pela cubagem tradicional e a cubagem pelo método de Pressler. Entretanto os resultados mostraram que existe igualdade apenas entre os modelos lineares (modelo de Spurr).

Palavras-chave: Inventário Florestal. Altura de Pressler. Relascópio de Bitterlich. Identidade de Modelos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Considerações iniciais	4
2.2 Cubagem rigorosa.....	4
2.2.1 Cubagem pelo método de Smalian.....	5
2.2.2 Cubagem pelo método de Huber.....	6
2.2.3 Cubagem pelo método de Newton	7
2.2.4 Cubagem pelo método de Hohenadl	7
2.3 Estimativas de volume.....	8
2.3.1 Fator de forma	8
2.3.2 Modelos volumétricos para árvores individuais, povoamento e tabelas de volume	8
2.4 Métodos para estimativa do volume de árvores em pé	11
3 METODOLOGIA.....	13
3.1 Descrição do local	13
3.2 Descrição do método de Pressler.....	13
3.3 Levantamento de dados	15

3.4 Análises estatísticas	16
3.4.1 Comparação das medidas de volume	16
3.4.2 Testes de validação dos modelos	19
3.4.3 Testes de identidade de modelos.....	20
4 RESULTADOS DA PESQUISA	23
4.1 Comparação das medidas de volume	23
4.2 Testes de validação dos modelos ajustados.....	24
4.2.1 Análise gráfica de resíduos para os modelos ajustados	25
4.3 Testes de identidade de modelos	27
4.3.1 Teste de identidade de modelos não lineares	27
4.3.2 Teste de identidade de modelos lineares.....	28
5 CONCLUSÕES	30
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Frequência das árvores-amostra em classes (centro de classes) de DAP e altura.....	15
Tabela 2 -	Parâmetros estimados e estatísticas utilizadas na tomada de decisão no teste $F(H_0)$ de Graybill.....	23
Tabela 3 -	Parâmetros estimados e medidas de precisão calculadas para os diferentes modelos volumétricos ajustados para <i>Tectona grandis</i> L.f.....	25
Tabela 4 -	Resultado do teste de identidade de modelos não lineares por meio da estatística Qui-quadrado.....	28
Tabela 5 -	Resultado do teste de identidade de modelos lineares.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelos volumétricos de simples entrada.....	9
Quadro 2 - Modelos volumétricos de dupla entrada.....	10
Quadro 3 - Quadro análise para tomada de decisão no teste F de Graybill.....	18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema da cubagem pelo método de Huber.....	6
Figura 2 - Árvore amostra ilustrando a metodologia para obtenção da altura de Pressler	14
Figura 3 - Distribuição dos resíduos percentuais do volume total em função do DAP, determinados pelo método de Pressler para árvores de <i>Tectona grandis</i> L.f.....	24
Figura 4- Distribuição dos resíduos percentuais do volume total em função do DAP, para os modelos de Schumacher-Hall e Spurr, ajustados para <i>Tectona grandis</i> L.f., a partir da cubagem tradicional e do método de Pressler.....	26

1 INTRODUÇÃO

As exportações brasileiras de produtos florestais em 2008 totalizaram U\$ 9,3 bilhões, o que configura o setor florestal como um dos mais importantes para a economia do país (SBS, 2009). Haja vista esta grande importância do setor é extremamente desejável que exista uma elevada exatidão na estimativa do estoque florestal. Justificando este pensamento, Silva (1996), afirma ser muito importante um diagnóstico completo e preciso da produção florestal, que é obtido através de técnicas adequadas de inventário e manejo. Desta forma, fica evidente que o conhecimento correto do estoque florestal se torna uma ferramenta importante para que seja elaborado com maior eficiência o planejamento das atividades a curto, médio e longo prazo do setor (CABACINHA, 2003).

Em cada talhão o conhecimento do estoque florestal poderá ser conhecido pelo inventário pré-corte, já a médio e longo prazo é necessário que a dinâmica da floresta seja conhecida, o que pode ser obtido através do inventário florestal contínuo.

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos inventários florestais, principalmente quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais. De acordo com Machado e Naldony (1991), o volume sólido de uma árvore pode ser determinado de diversas formas, dentre elas: analiticamente, através de cubagem rigorosa; graficamente, em função de informações das variáveis diâmetro e altura da árvore, tomados ao longo do fuste; pelo deslocamento de água (método do xilômetro); a partir do peso da árvore.

No entanto, para qualquer dos procedimentos citados, os volumes individuais obtidos para cada árvore-amostra, são utilizados no ajuste de modelos estatísticos que permitem estimar o volume de árvores individuais. Desta forma, a partir destas equações é possível a extrapolação do volume de madeira por unidade de área (talhão, hectare, etc.). Para o ajuste destes modelos, é necessário algum procedimento de cubagem rigorosa, o que segundo Gomes (1957), consiste na medição de sucessivos diâmetros ao longo do fuste da árvore. Ainda a FAO (1973), citada por Belchior (1996), caracteriza a cubagem rigorosa como método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais.

1.1 O problema e sua importância

Em geral, os métodos de cubagem rigorosa implicam na derrubada de várias árvores, pertencentes a diferentes classes de DAP para a medição dos diâmetros. Em alguns casos específicos, como nos plantios de eucaliptos, são derrubadas de 5 a 7 árvores em cada classe de diâmetro, resultando em 100 a 150 árvores-amostra, por ocasião do corte final (LEITE e ANDRADE, 1999). Assim pode-se pressupor que tal atividade é muito onerosa em termos de tempo e recursos. Desta forma, qualquer iniciativa que permita a redução do tempo de execução da cubagem rigorosa, sem que seja prejudicada a sua acurácia, pode resultar em grandes alterações no custo desta atividade, proporcionando redução no gasto de recursos sejam eles, financeiros materiais, etc.

De acordo com Girard (1933), a medição de outra medida de diâmetro acima da medida realizada a 1,30 metros (DAP), em conjunto com a medida da altura total, podem explicar de maneira satisfatória as variações no volume das árvores provocadas pela variação na sua forma. Assim, apoiado na afirmativa de Girard (1933), o método de Pressler poderia constituir uma alternativa eficiente aos procedimentos de cubagem rigorosa tradicionais, ou seja, as medidas de volume fornecidas por tal método poderiam ser usadas no ajuste de equações de volume para árvores individuais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos geral

O objetivo geral deste estudo foi verificar a acurácia do método de Pressler na estimativa do volume de árvores individuais de teca (*Tectona grandis* L.f.), cubadas por meio do uso do relascópio de Bitterlich.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo foram:

- Comparar os resultados de cubagem rigorosa da árvore em pé feita da forma tradicional (por seccionamento absoluto do tronco) com a cubagem da árvore realizada pelo método de Pressler ;
- Avaliar a influência do método de Pressler para obtenção do volume no ajuste de equações volumétricas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Considerações iniciais

A correta estimativa do volume de madeira produzida é ferramenta essencial para o correto manejo e planejamento da produção em povoamentos florestais. Segundo Guimarães e Leite (1992 citado por SILVA, 1996), além de um planejamento minucioso, a utilização da madeira para multiprodutos também requer informações precisas da produção florestal em termos de volume comercial e total.

As informações a respeito do volume existente num povoamento são obtidas através de dados constantes no inventário florestal. Na maioria das vezes, a estimativa deste volume é realizada a partir de dados oriundos de cubagem rigorosa. Entretanto alguns esforços têm sido realizados no sentido de suprimir estes procedimentos de cubagem que são em geral demorados e onerosos.

2.2 Cubagem rigorosa

A exploração florestal só pode ser bem planejada, vistoriada e fiscalizada, com base em um sistema eficiente de quantificação do volume de madeira (LEITE, 2008). O volume sólido de uma árvore pode ser determinado de diversas formas, analiticamente, graficamente e a partir do peso da árvore, (MACHADO e FILHO, 2003).

O método considerado mais preciso para determinar o volume é efetuado através do deslocamento de água em um xilômetro (STERNADT, 2001). Entretanto, esta metodologia é impraticável e operacionalmente impossível para árvores de grande porte, como as que ocorrem nas florestas tropicais ou em florestas plantadas manejadas com rotações mais longas, visando à produção de madeira serrada.

São bastante difundidas no meio florestal, algumas fórmulas que foram desenvolvidas com a finalidade de calcular analiticamente o volume de árvores

individuais. Estas fórmulas são separadas em dois grupos: métodos absolutos (fórmulas de Huber, Smalian e Newton) e métodos relativos (fórmula de Hohenadl).

A fórmula de Smalian requer medidas de diâmetro nas duas extremidades da tora (base e topo). Embora seja de fácil aplicação, o que explica sua grande aceitação em todo mundo, a sua precisão decresce consideravelmente quando comparada com as fórmulas de Huber e Newton, se a forma da seção mensurada não se assemelha a de um parabolóide (LEITE, 2008).

Dentre os métodos de cubagem, os absolutos são os mais usados nas empresas florestais, sendo o método de Smalian o preferido devido a sua praticidade, porém estes métodos geralmente implicam na derrubada das árvores (CABACINHA, 2003).

2.2.1 Cubagem pelo método de Smalian

A cubagem rigorosa pelo método de Smalian consiste na medição dos diâmetros ou circunferências nas extremidades de cada seção do tronco. Assim determina-se o volume de cada seção utilizando a seguinte fórmula (MACHADO e FILHO, 2003):

$$V_i = \frac{(g_1 + g_2)}{2} l$$

Onde:

V = volume da seção i da tora em m³;

g₁ = área transversal na base da seção i da tora (m²);

g₂ = área transversal no topo da seção i da tora (m²);

l = comprimento da seção da tora em metros;

i = número de seções da tora (i= 1,2,3,.....,n).

Quando se desejar incluir os volumes da ponta ou da cepa, isto pode ser conseguido através das fórmulas: $V_p = \frac{(g_p l_p)}{3}$ e $V_c = (g_c l_c)$ respectivamente. Nestas equações g_p e g_c representam as áreas seccionais da ponta e da cepa respectivamente.

Desta forma o volume total da árvore pode ser determinado pelo somatório do volume das diferentes seções mais o volume da ponta e da cepa.

2.2.2 Cubagem pelo método de Huber

Segundo Sternadt (2001), para a determinação do volume da seção da árvore, Huber propôs que a área seccional utilizada seja aquela obtida no ponto médio da seção conforme descrito na Figura 1. Assim o volume total da árvore, semelhantemente ao método de Smalian, será obtido pela soma do volume das diferentes seções mais os volumes da ponta e da cepa quando necessário.

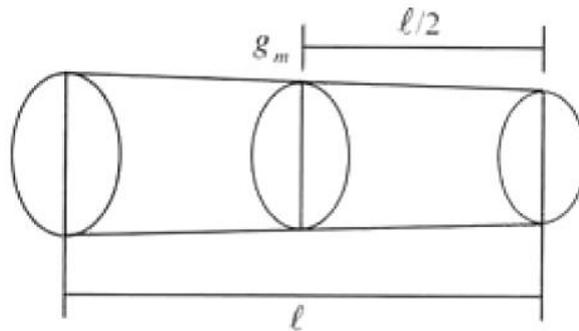


Figura 1 – Esquema da cubagem pelo método de Huber.

Fonte: Machado e Figueiredo Filho (2003).

Onde: g_m = área seccional, em m^2 tomada no meio da seção da tora.

Desta forma o volume da seção da tora é dado por (com g_m e l já definidos):

$$V = g_m \cdot l$$

A fórmula de Huber tem limitação de uso porque a área transversal tomada no meio da tora considera o diâmetro sem casca. Entretanto, com intervalos de 10 m ou mais a subestimação da fórmula de Huber é de somente 5% do volume total (STERNADT, 2001).

2.2.3 Cubagem pelo método de Newton

De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2003), na cubagem pelo método de Newton são efetuadas três medições ao longo de cada seção da tora, sendo que a área seccional medida na parte média da seção recebe uma peso maior que o das extremidades. O volume de cada seção pode ser determinado pela seguinte fórmula:

$$V_i = \frac{(g_1 + 4g_m + g_2)}{6} l$$

Semelhantemente aos outros métodos, o volume total será obtido pela soma do volume das diferentes seções mais os volumes da ponta e da cepa quando necessário.

2.2.4 Cubagem pelo método de Hohenadl

Originalmente o método de Hohenadl é caracterizado pela divisão do tronco em cinco seções com comprimentos iguais (figura 2.3), que são estabelecidos em função da altura (h), sendo o volume calculado por apenas uma medida de diâmetro ou circunferência no centro de cada seção como em Huber (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003). Neste caso o volume total é obtido pela fórmula a seguir:

$$V = \left(\frac{h}{5}\right) (g_{0,1} + g_{0,3} + g_{0,5} + g_{0,7} + g_{0,9})$$

Onde: $g_{0,i}$ representa a área transversal (m^2), obtida a 10, 30, 50, 70, 90% da altura total (h).

Pela fórmula original podem-se obter volumes menos precisos, pois quanto maior a altura da árvore, mais longas serão as seções (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003). No entanto esta situação pode ser contornada aumentando o número de medições sobre o tronco, ou seja o número de seções. Ainda é recomendável que em árvores jovens o número de seções também seja elevado, visando garantir um número substancial de diâmetros medidos ao longo do tronco (UFSM/SEMA-RS, 2006).

2.3 Estimativas de volume

Em povoamentos florestais, onde é implantada geralmente uma ou poucas espécies, o volume de madeira presente pode ser estimado com precisão e acurácia consideráveis. Existem, consagradas na literatura, várias metodologias para estimação de volumes, entretanto segundo Cabacinha (2003), as equações para árvores individuais são as mais utilizadas. No entanto, todas estas opções metodológicas necessitam do conhecimento do volume real das árvores, que deve ser determinado. Abaixo, estão descritas algumas destas metodologias utilizadas na estimação de volumes:

2.3.1 Fator de forma

O volume real do fuste de uma árvore pode ser considerado uma porcentagem do volume de um cilindro, definido pelo *DAP* e pela altura total ou comercial das árvores (*Ht* ou *Hc*). Essa relação define o chamado fator de forma (*f*), demonstrado adiante.

$$f = \frac{\text{Volume real}}{\text{Volume cilíndrico}}$$

De acordo com a expressão anterior, o volume real de uma árvore, com ou sem casca, pode ser obtido multiplicando-se o volume do cilindro, por um fator de forma médio definido para a espécie e o local. O volume do cilindro pode ser obtido pela multiplicação do *DAP* pela *Ht* ou *Hc* conforme o caso (SOARES et al., 2006).

2.3.2 Modelos volumétricos para árvores individuais, povoamento e tabelas de volume

Modelos volumétricos podem ser definidos como modelos estatísticos onde o volume da árvore é a variável dependente, sendo que podem existir uma ou mais variáveis independentes: *DAP*, altura e fator de forma. Estes modelos podem ser

usados para gerar tabelas de volume ou modelos que estimem volume de madeira por unidade de área (CABACINHA, 2003).

Segundo Scolforo (1997), os modelos volumétricos ou equações de volume podem ser classificados como equações de simples, dupla e tripla entrada. Entretanto são necessárias algumas observações importantes que possibilitam o uso de tais equações.

As equações de simples entrada devem ser utilizadas quando existe uma correlação forte entre o volume e a altura, assim pode-se afirmar que as variações na altura são bem explicadas pelo diâmetro, no caso diâmetro na altura do peito (DAP). No Quadro 1 são apresentadas algumas equações de simples entrada citadas na literatura.

Quadro 1 – Modelos volumétricos de simples entrada.

Autor	Modelo
Kopezky-Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$
Berkhout	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} + \varepsilon$
Husch	$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP + \varepsilon$

Onde: V: volume; DAP: diâmetro a altura do peito; β : parâmetros a serem estimados; Ln: logaritmo neperiano; ε : erro aleatório.

Fonte: Scolforo (1997).

As equações de dupla entrada são utilizadas quando não existe certa homogeneidade entre altura e diâmetro dentro do povoamento. Nestas equações o volume é calculado em função do diâmetro e da altura sendo que existe uma forte correlação entre a altura e o diâmetro. No Quadro 2 são apresentadas algumas equações de dupla entrada citadas na literatura.

Quadro 2 – Modelos volumétricos de dupla entrada.

Autor	Modelo
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 ht + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 DAP^{\beta_1} ht^{\beta_2} + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 ht + \beta_3 DAP ht^2 + \beta_4 ht^2 + \varepsilon$

Onde: V: volume; DAP: diâmetro a altura do peito; ht: altura total; β : parâmetros a serem estimados; Ln: logaritmo neperiano; ε : erro aleatório.

Fonte: Scolforo (1997).

As equações de tripla entrada não são recomendadas, pois levam em consideração além do diâmetro e altura uma terceira variável independente o fator de forma (f), que além de ser de difícil determinação, ainda possui pouca significância no ajuste de modelos. Além disto, a cubagem rigorosa consegue contornar as variações no volume inerentes à forma da árvore.

Equações de volume são usadas para confecção de tabelas de volume, elaboradas para espécies individuais ou grupos de espécies. As equações de volume estimam o volume por árvore em função ou do diâmetro, ou do diâmetro e altura, altura ou ainda do diâmetro, altura e forma da árvore (fator de forma), resultando assim em, respectivamente, três tipos básicos de tabelas: local ou simples entrada, regional ou dupla entrada, e tabela formal. A mais usada, é a de dupla entrada que expressa o volume em função do DAP e altura da árvore (SCHNEIDER, 2006).

Medidas precisas de volume de madeira são ferramentas importantes no planejamento do uso do recurso florestal, sendo a equação de volume uma das ferramentas mais importantes (HIGUCHI, 1992).

De acordo com Rocha (1992 citado por CABACINHA, 2003), um dos métodos mais utilizados no ajuste de equações é a técnica de regressão, pois esta é bastante objetiva em estabelecer inter-relações entre as variáveis dependentes e independentes, presentes nos modelos volumétricos.

Comparando os modelos de Schumacher e Hall com outros modelos volumétricos, Paula Neto (1977) e Campos et al. (1985) verificaram que este modelo era mais preciso nas estimativas de volume.

Comparando modelos de equações de volume para o gênero *Pinus*, Pinheiro e Veiga (2000) verificaram que os modelos de Naslund e Schumacher e Hall logarítmico foram os que obtiveram melhor desempenho na estimativa de volume para algumas espécies daquele gênero.

Os estudos de Rolim et al. (2006), com modelos volumétricos para Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí na Serra dos Carajás (PA), constataram que o modelo de dupla entrada de Schumacher e Hall estimava volume com melhor precisão que outros doze modelos testados. Somado a este fato, os trabalhos de Higuchi (2000), testando equações de volume para floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus e ainda os trabalhos de Thomas et al. (2006), com equações de volume para povoamentos de *Pinus taeda* L., também observaram maior precisão no modelo de Schumacher e Hall.

Entretanto, Silva et al. (2008), verificaram que o modelo de Spurr obteve melhor desempenho na estimação de volumes de árvores de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), na idade de 5 anos.

2.4 Métodos para estimativa do volume de árvores em pé

De acordo com Guimarães (1982), a principal limitação dos métodos que não se utilizam da cubagem rigorosa tradicional para estimativa de volumes, é a dificuldade de obtenção de dados. Entretanto, com o surgimento e aprimoramento de novos instrumentos de medição de árvores, uma grande mudança pode ser provocada no tema cubagem rigorosa (CABACINHA, 2003).

Existem na literatura alguns métodos para estimativa de volumes de árvores individuais em pé, dentre eles podemos citar: o método de Pressler, o método do quociente de forma, o método do quociente de Girard e ainda, o método da altura relativa ou método geométrico (ANDRADE, 2001).

O método de Pressler se utiliza da medição da altura entre o DAP a 1,3 metros e um ponto no fuste onde o diâmetro é igual à metade do DAP, esta altura é denominada Altura de Pressler. É a partir deste valor de altura, juntamente com os valores de área basal a 1,3 metros, que é realizada a estimação do volume da árvore.

Ao contrário do que ocorre com os métodos de cubagem tradicionais, não existem muitos estudos no sentido de avaliar e comparar a precisão e acurácia do método de Pressler. No entanto, Silva (1978), ao avaliar a eficiência do método de Pressler na estimativa de volumes de *Pinus taeda* L., concluiu que este método proporcionava um erro médio da ordem de 2,79%, quando comparado com o método de cubagem de Hohenadl.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição do local

A pesquisa foi desenvolvida num plantio homogêneo de teca, (*Tectona grandis* L.f.), com idade de 7anos e densidade de 1.667 árvores.ha⁻¹ (espaçamento de 3 x 2 metros) localizado no município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

A altitude do local do povoamento é de 120 m, sendo que o clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, que se caracteriza pelo inverno seco e verão chuvoso.

3.2 Descrição do método de Pressler

O método de Pressler se utiliza da medição da altura entre o DAP a 1,3 metros e um diâmetro igual à metade do DAP (Altura de Pressler) para a estimação do volume da árvore.

Considerando uma árvore, representada pela Figura 2, temos que: hp é a altura de Pressler; ht é a altura total.

Assumindo como g a área basal individual a 1,3 metros, Pressler propôs a seguinte equação para o cálculo do volume da parte do tronco acima de 1,3 metros:

$$V_p = \frac{2}{3} \cdot g \cdot h_p$$

Onde: Vp - Volume de Pressler.

g - Área basal individual a 1,3 metros.

hp - Altura de Pressler.

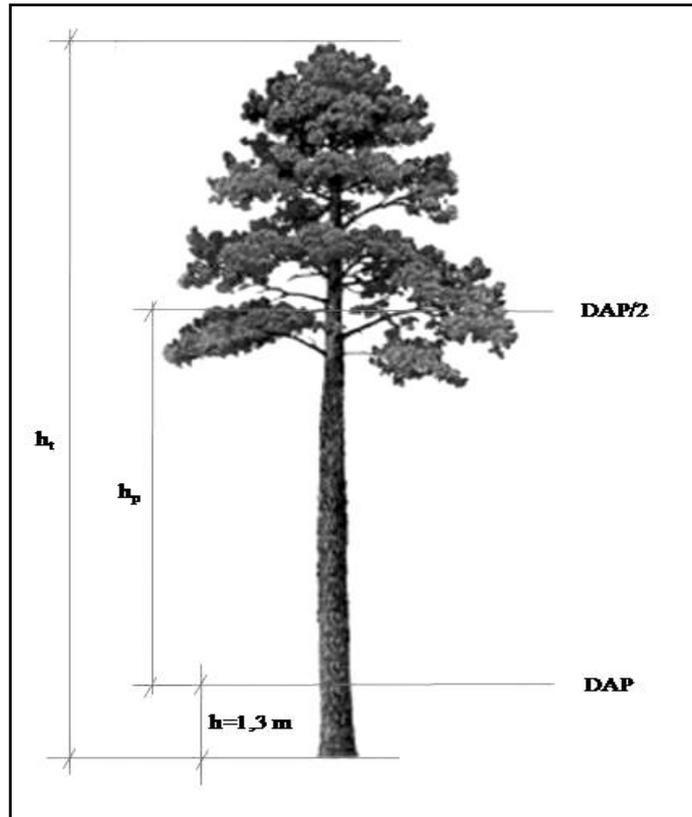


Figura 2 – Árvore amostra ilustrando a metodologia para obtenção da altura de Pressler.

Fonte: O autor.

Calculando o volume do toro basal, assumindo-o como um cilindro de altura $h = 1,3$ metros e diâmetro igual ao DAP, o volume total pode ser calculado como segue:

$$V_t = V_p + g \cdot h$$

ou

$$V_t = g \cdot (2/3 \cdot h_p + h)$$

Onde: V_p e g já foram definidos.

h - 1,3 metros.

V_t - Volume total.

3.3 Levantamento de dados

Dentro do plantio, foram escolhidas aleatoriamente e marcadas 45 árvores distribuídas em 7 diferentes classes de diâmetro. Após a marcação das árvores escolhidas, foi mensurado o DAP de cada uma com o auxílio de uma suta.

A partir dos valores de DAP, foram obtidas para cada árvore, através do relascópio de Bitterlich, com auxílio da régua telescópica, a altura onde é encontrado um valor de diâmetro igual à metade do DAP, ou seja, a altura de Pressler. Isto se torna possível, pois o relascópio de Bitterlich permite a obtenção de diâmetros ao longo do fuste das árvores em pé. Para tanto a distância horizontal entre o mensurador e a árvore foi constante e igual a 15 metros.

As árvore-amostra utilizadas neste estudo possuem diâmetros que variam entre 10,5 cm e 23,7 cm, sendo que as alturas situavam no intervalo entre 8,8 m e 18,4 m (Tabela 1).

Tabela 1 - Frequência das árvores-amostra em classes (centro de classes) de DAP e altura.

DAP (cm)	Altura Total						Total
	9	11	13	15	17	19	
11	1	2	1				4
13			8				8
15			1	4			5
17				8			8
19				4	1		5
21					10		10
23					2	3	5
Total	1	2	10	16	13	3	45

Para que se possa estabelecer uma comparação, as 45 árvores foram cubadas rigorosamente. Desta forma, foi possível avaliar a acurácia do método de Pressler quando comparado com o método tradicional de cubagem.

No procedimento de cubagem tradicional adotado, as árvores foram marcadas em seções de um metro a partir da base e através de escalada, os diâmetros de cada seção foram medidos com a suta.

3.4 Análises estatísticas

A partir dos dados coletados pelos dois métodos de cubagem descritos, as análises foram divididas em duas etapas. Na primeira foram comparados os volumes individuais das árvores-amostra determinados a partir dos dois métodos: método de Pressler e cubagem tradicional com escalada. Para a determinação do volume pelo método tradicional foi empregada a fórmula de Smalian (conforme descrito no tópico 2.2.1). Na segunda etapa, o volume determinado pelo método de Pressler e pelo método tradicional foram empregados no ajuste de modelos volumétricos. Os modelos ajustados foram submetidos a testes de validação, sendo em seguida submetidos a um teste de identidade de modelos.

3.4.1 Comparação das medidas de volume

Para comparar as medidas de volume obtidas com os dois métodos (cubagem tradicional e método Pressler), optou-se por adaptar a metodologia utilizada por Silva (1996). Nesta metodologia os volumes obtidos pelos dois métodos são comparados através do ajuste de uma regressão linear. Assim neste estudo, as variáveis dependentes e independentes desta regressão foram os volumes obtidos por cada método, ou seja:

$$V_{\text{cubagem}} = \beta_0 + \beta_1 V_{\text{Pressler}} + \varepsilon$$

Onde: V_{cubagem} – Volume obtido a partir do método de cubagem tradicional.

V_{Pressler} – Volume obtido a partir do método de Pressler.

A similaridade das variáveis foi verificada a partir do teste da hipótese:

$$H_0: \beta^{\rightarrow} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{“versus”}$$

$$H_a: \text{ não } H_0 .$$

Para testar esta hipótese, aplicou-se a estatística F, de acordo com o proposto por Graybill (1976):

$$F (H_0) = \frac{(\hat{\beta} - \theta)'(X'X)^{-1}(\hat{\beta} - \theta)}{m\hat{\sigma}^2}$$

Onde: $\hat{\beta}' = [\beta_0 \ \beta_1]$ - Vetor transposto de parâmetros da equação de regressão linear simples.

$$\theta = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

$$m = 2.$$

$\hat{\sigma}^2$ - Quadrado médio do resíduo.

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} n & \sum x \\ \sum x & \sum x^2 \end{bmatrix}^{-1}$$

$$F_{\text{tab}} - [\alpha, 2, 43]$$

A não rejeição de H_0 indica que o valor obtido com a cubagem tradicional é estatisticamente coincidente com o valor obtido com o método de Pressler.

Ainda de acordo Guimarães (1994 citado por SILVA, 1996), deve-se levar outros critérios em consideração ao comparar valores pela estatística F de Graybill, tais como a análise de correlação e erro médio entre os valores observados. Desta forma a análise deste estudo se baseou nas combinações constantes no Quadro 3. Desta forma, as estimativas foram consideradas adequadas quando coincidentes com os

casos 1, 2 e 5, sendo que valores de R^2 acima de 90% são considerados altos e valores de $\bar{e}(\%)$ menores que 10% são considerados baixos

Quadro 3 – Quadro análise para tomada de decisão no teste F de Graybill.

CASO	TESTE F	R^2	$\bar{e}(\%)$
1	n.s	Alto	Baixo
2	n.s	Alto	Alto
3	n.s	Baixo	Baixo
4	n.s	Baixo	Alto
5	Sig.	Alto	Baixo
6	Sig.	Alto	Alto
7	Sig.	Baixo	Baixo
8	Sig.	Baixo	Alto

Fonte: Guimarães (1994 citado por SILVA, 1996).

Com o intuito de verificar a distribuição dos resíduos referentes à estimativa do volume das árvores-amostra com o uso do método de Pressler, foi realizada uma análise gráfica dos resíduos. Neste caso, os gráficos para avaliação dos resíduos tiveram como variável independente o DAP e como variável dependente os erros percentuais referentes à estimativa do volume pelo método de Pressler.

Os erros percentuais foram obtidos pela seguinte expressão:

$$e(\%) = \left(\frac{V_{\text{cubagem}} - V_{\text{Pressler}}}{V_{\text{cubagem}}} \right) \cdot 100$$

Onde: V_{cubagem} – Volume observado pela cubagem tradicional.

V_{Pressler} – Volume observado pelo método de Pressler.

3.4.2 Testes de validação dos modelos

A partir dos dados de volume obtidos pela expressão de Smalian para o método de cubagem tradicional, e do volume obtido pelo método de Pressler, foram ajustados os seguintes modelos volumétricos para estimar o volume:

$$\text{Modelo 1: } V = \beta_0 \text{DAP}^{\beta_1} \text{ht}^{\beta_2} + \varepsilon \quad (\text{Schumacher-Hall})$$

$$\text{Modelo 2: } V = \beta_0 + \beta_1 \text{DAP}^2 \text{ht} + \varepsilon \quad (\text{Spurr})$$

Após o ajuste dos modelos, foi calculado também a estatística t para os estimadores dos parâmetros das equações ajustadas, sendo rejeitados os coeficientes quando $p > 0,05$.

Com a finalidade de estabelecer comparações entre os modelos volumétricos ajustados para cada situação e ainda validar a sua utilização na verificação da acurácia do método de Pressler, foram calculadas as seguintes medidas de precisão: coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2); erro padrão absoluto ($s_{y,x}$), em metros cúbicos; erro padrão relativo ($s_{y,x}\%$) e análise gráfica dos resíduos.

O (\bar{R}^2) foi calculado segundo o proposto por kvalseth (1985), pois os modelos volumétricos ajustados apresentavam naturezas distintas (linear e não-linear):

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

Onde: Y_i = i -ésimo valor observado para a variável dependente Y , no caso deste trabalho o volume total;

Y = 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 de volume. Os erros percentuais foram obtidos pela seguinte expressão:

$$e(\%) = \left(\frac{V_{\text{obs.}} - V_{\text{est.}}}{V_{\text{obs.}}} \right) \cdot 100$$

Onde: $V_{\text{obs.}}$ – Volume observado.

$V_{\text{est.}}$ – Volume estimado pelos modelos volumétricos ajustados.

3.4.3 Testes de identidade de modelos

Os modelos volumétricos utilizados neste estudo foram ajustados a partir de dados de volume total oriundos de dois métodos diferentes (cubagem tradicional e método de Pressler), desta forma é necessário verificar a semelhança das estimativas obtidas por cada método. Sendo assim, foi aplicado um teste de identidade de modelos no sentido de se verificar se os parâmetros estimados para as equações são estatisticamente iguais.

A identidade entre os parâmetros estimados para os modelos ajustados, nas duas situações avaliadas (cubagem tradicional e método de Pressler), foi verificada a partir do teste de hipótese:

H_0 : Os parâmetros ajustados para os modelos são idênticos “versus”

H_a : não H_0 .

A não rejeição de H_0 indica que os modelos ajustados a partir dos dados de cubagem tradicional são idênticos aos ajustados a partir do método de Pressler.

No caso do modelo não linear (modelo 1), para testar a hipótese sugerida, empregou-se o teste apresentado por Regazzi (2003), no qual a identidade entre modelos não lineares pode ser testada pela estatística Qui-quadrado, como segue:

$$\chi^2_c = -n \ln \left(\frac{SQR_{\Omega}}{SQR_w} \right)$$

Onde: χ^2_c - Qui-quadrado calculado.

SQR_{Ω} - Soma de quadrados do resíduo do modelo completo (equação estimada apenas com os dados de volumes obtidos pela cubagem tradicional).

SQR_w - Soma de quadrados do resíduo do modelo reduzido (equação estimada apenas com os dados de volumes obtidos pelo método de Pressler).

n - Número total de dados.

No caso do modelo linear (modelo 2), para testar a hipótese sugerida empregou-se o teste de Chow (1960 citado por GREENE, 1997), cuja estatística é:

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

Onde: 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 ($n_1 + n_2$). As situações 1 e 2 poderiam ser, por exemplo, volumes estimados pela equação ajustada a partir da cubagem tradicional e método de Pressler respectivamente.

$SQRes_1$ - Soma de quadrados do resíduo para a equação estimada apenas com os dados de volumes obtidos pela cubagem tradicional (n_1).

$SQRes_2$ - Soma de quadrados do resíduo para a equação estimada apenas com os dados de volume obtidos pelo método de Pressler (n_2).

P - Número de parâmetros.

n_1 e n_2 - Número de observações.

Para todos os testes efetuados foram calculados os respectivos valores de $F_{\text{calculado}}$ (ou $\chi^2_{\text{Calculado}}$) sendo posteriormente comparados com F_{tabelado} (ou χ^2_{Tabelado}) para uma significância de 5%. Dessa maneira, sempre que o valor calculado for maior

que o tabelado, considera-se o teste significativo; portanto, a 5% de significância rejeita-se a hipótese H_0 .

4 RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 Comparação das medidas de volume

Para cada árvore-amostra foi obtido o volume total pelo método de cubagem tradicional e pelo método de Pressler. Desta forma foi possível a comparação direta do volume determinado por cada método pelo teste $F(H_0)$ de Graybill (Tabela 2).

Tabela 2- Parâmetros estimados e estatísticas utilizadas na tomada de decisão no teste $F(H_0)$ de Graybill.

$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{Tabelado(5\%)}}$	R^2	$\bar{e}(\%)$
0,004	0,914	8,68*	3,39	95,4	-5,41

* significativo a 95% de probabilidade pela distribuição F.

A análise da Tabela 2 indica que o teste $F(H_0)$ foi significativo, ou seja, a princípio a hipótese H_0 é rejeitada e os valores de $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ estimados para a regressão linear ajustada não são estatisticamente iguais a 0 e 1 respectivamente. Entretanto os resultados obtidos estão de acordo com o caso 5 definido por Guimarães (1994 citado por SILVA, 1996), ou seja, valores de R^2 altos (maiores que 90%) e $\bar{e}(\%)$ baixos (menores que 10%). Assim, neste caso pode-se assumir que existe similaridade entre os volumes determinados pelo método tradicional de cubagem e pelo método de Pressler, ou seja, são estatisticamente iguais. Segundo Silva (1996), existe uma forte tendência deste teste estatístico em rejeitar a hipótese de nulidade, pois quando existe uma alta correlação entre os valores observados e estimados a consequência é uma redução na variância residual, o que aumenta a sensibilidade do teste.

Na Figura 3 mostra-se a distribuição dos resíduos referentes à estimativa do volume pelo método de Pressler.

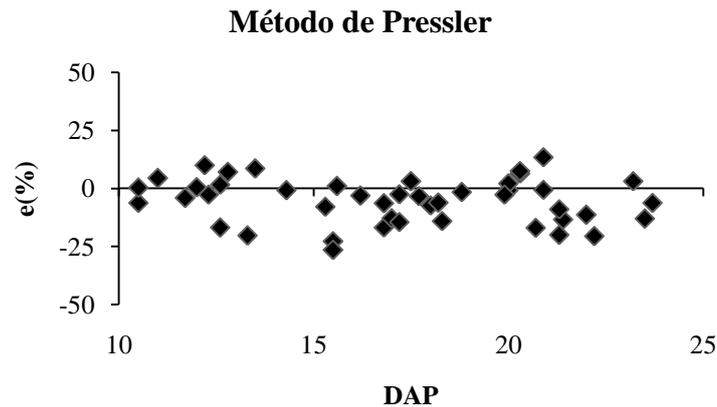


Figura 3 – Distribuição dos resíduos percentuais do volume total em função do DAP, determinados pelo método de Pressler para árvores de *Tectona grandis* L.f.

O método de Pressler apresentou melhor desempenho nas árvores-amostra com DAP inferior a 15 cm, com uma distribuição aparentemente regular dos resíduos para esta classe. Um comportamento considerado intermediário foi o obtido na classe com DAP maior que 20 cm. Entretanto, é visível que o método apresenta uma tendência em subestimar o volume, principalmente nas árvores-amostra com valores de DAP intermediários, entre 15 e 20 cm. No entanto, Silva (1978), ao avaliar a eficiência do método de Pressler verificou que o método possui tendência em superestimar os volumes, porém as condições deste trabalho são diferentes das utilizadas por Silva (1978), que foi executado em plantio de *Pinus taeda* L., na região sul do país.

4.2 Testes de validação dos modelos ajustados

O coeficiente de determinação ajustado, o erro padrão da estimativa, assim como os parâmetros estimados para as equações são apresentados na Tabela 3, para cada modelo e método estudados.

Ao analisar a Tabela 3, os modelos ajustados apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado (acima de 90%) e também um erro-padrão das estimativas satisfatório (entre 8,56% e 14,09%), o que é esperado quando se trabalha com modelos volumétricos de dupla entrada.

Tabela 3- Parâmetros estimados e medidas de precisão calculadas para os diferentes modelos volumétricos ajustados para *Tectona grandis* L.f..

Modelo	Método	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	\bar{R}^2	$S_{y.x}$	$S_{yx\%}$
1	Cubagem	0,000258	1,983007	0,3071	0,9637	0,0124	8,56
1	Pressler	0,000226	1,993344	0,3822	0,9790	0,0100	6,59
2	Cubagem	0,024992	0,000047		0,9040	0,0203	14,09
2	Pressler	0,023090	0,000051		0,9314	0,0184	12,04

* Parâmetros não significativos ($p > 0,05$); o modelo 1 é o Schumacher-Hall; o modelo 2 é o modelo de Spurr.

Contudo, é nítida a diferença de precisão entre os modelos 1(Schumacher-Hall) e 2 (Spurr) ajustados. Neste sentido chama atenção o modelo 1, que apresentou os maiores valores para o coeficiente de determinação ajustado e os menores valores de erro-padrão das estimativas. Isto sugere que este modelo pode apresentar maior precisão nas estimativas de volume do povoamento em estudo, nos dois métodos avaliados.

Também é possível verificar, ao analisar a Tabela 3, que os modelos ajustados a partir do método de Pressler apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação ajustado (97,9% e 93,14%), assim como os menores valores de erro-padrão das estimativas (6,59 e 12,04). Entretanto, estes valores sugerem apenas que estas equações ajustadas apresentam uma maior precisão em estimar o volume de Pressler (variável dependente) nas árvores-amostra do povoamento em estudo, o que indica existir uma alta correlação do DAP e altura total com o volume de Pressler.

4.2.1 Análise gráfica de resíduos para os modelos ajustados

Na Figura 4 mostra-se a distribuição dos resíduos referentes aos diferentes modelos e métodos testados.

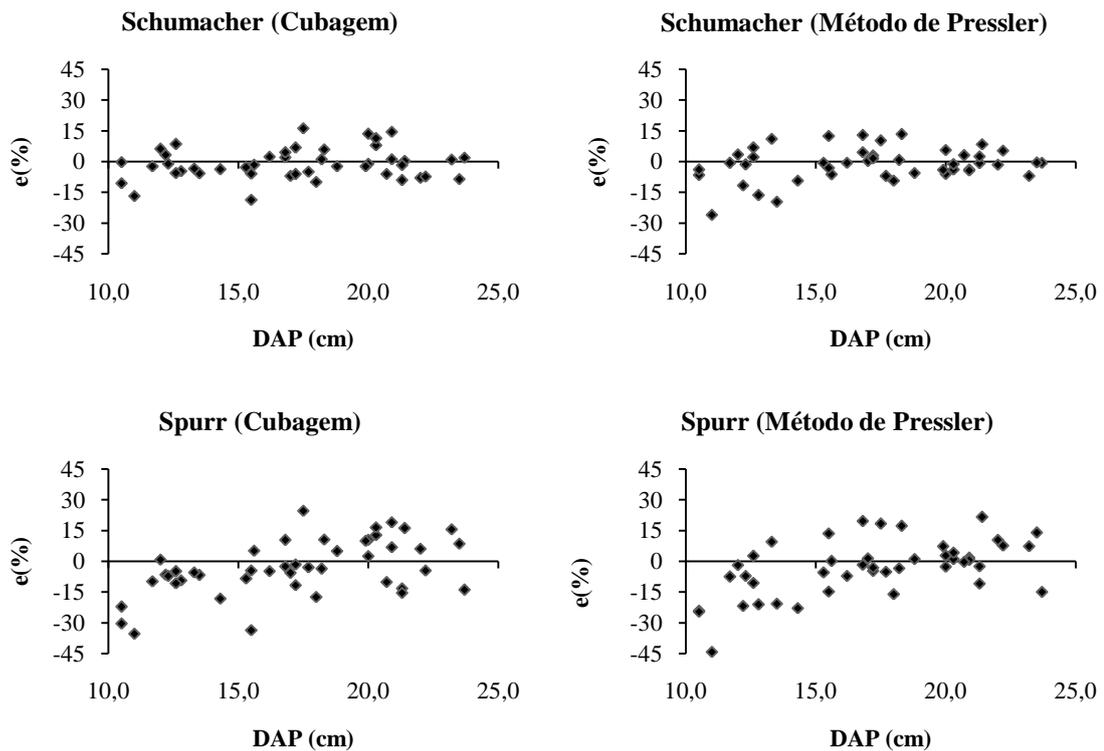


Figura 4- Distribuição dos resíduos percentuais do volume total em função do DAP, para os modelos de Schumacher-Hall e Spurr, ajustados para *Tectona grandis* L.f., a partir da cubagem tradicional e do método de Pressler.

Pela análise da Figura 4, é possível perceber que o modelo de Schumacher-Hall obteve melhores resultados para os diferentes métodos avaliados. Esta análise é compatível com os resultados obtidos pelas medidas de precisão calculadas para estas diferentes situações de análise.

No caso dos ajustes realizados a partir dos dados da cubagem tradicional, observa-se que o modelo de Spurr possui uma forte tendência em subestimar o volume, principalmente nas árvores com DAP inferior 15 cm. Aparentemente, nas classes de DAP superiores a 15 cm esta tendenciosidade diminui, entretanto os valores observados dos resíduos percentuais continuam elevados, quando comparados com os obtidos pelo modelo de Schumacher-Hall.

Quando os ajustes são realizados a partir dos dados do método de Pressler, observa-se que para o modelo de Schumacher-Hall, os menores valores dos resíduos percentuais são observados nas classes de árvores com DAP superiores a 20 cm. Neste caso o modelo de Spurr apresentou tendência em subestimar o volume na classe com DAP inferior 15 cm.

Ainda com a Figura 4 sob análise, pode-se detectar que apesar das diferenças na magnitude dos erros percentuais observados, em todas as situações avaliadas existe uma tendência em subestimar o volume nas classes com DAP inferior a 15 cm passando para um superestimação nas classes superiores 15 cm.

4.3 Testes de identidade de modelos

Os testes de identidade de modelos são necessários para que se possa inferir a respeito da possibilidade de utilização dos modelos ajustadas a partir do método de Pressler na estimação de volume total. Neste estudo, os modelos foram comparados de acordo com sua natureza, ou seja, modelos lineares foram comparados com modelos lineares, sendo o mesmo válido para os modelos não lineares.

Os testes utilizados neste estudo compararam se os parâmetros estimados para os modelos ajustados a partir do método tradicional de cubagem são estatisticamente iguais aos ajustados a partir do método de Pressler. Assim, a não rejeição de H_0 pode indicar que os modelos ajustados para as duas situações são estatisticamente idênticos. Ou seja, o volume total estimado a partir de um ou de outro modelo ajustado também podem ser considerados estatisticamente idênticos..

4.3.1 Teste de identidade de modelos não lineares

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para o teste de identidade entre os modelos de Schumacher-Hall ajustados a partir da cubagem tradicional e método de Pressler.

Os resultados deste teste revelaram que a equação obtida pelo método de Pressler foi estatisticamente diferente à obtida pelo método tradicional, em nível de 5% de probabilidade pelo teste Qui-Quadrado ($\chi^2_{\text{Calculado}} > \chi^2_{\text{Tabelado}}$). Desta forma rejeita-se a hipótese H_0 , ou seja, pode-se assumir que os parâmetros estimados para o modelo nas duas situações são estatisticamente diferentes em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4- Resultado do teste de identidade de modelos não lineares por meio da estatística Qui-quadrado.

Modelo	$\chi^2_{\text{Calc.}}$	$\chi^2_{\text{Tab.}(5\%)}$	Teste
1	18,63	0,103	S

n.s. – não significativo ($p > 0,05$) pela distribuição χ^2 ; s – significativo; o modelo 1 é o de Schumacher-Hall.

É importante enfatizar que neste trabalho o método da cubagem é considerado o método de referência, assim para o povoamento em estudo não é recomendada utilização de modelos de Schumacher-Hall ajustados a partir do método de Pressler.

4.3.2 Teste de identidade de modelos lineares

A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para o teste de identidade entre os modelos de Spurr ajustados a partir da cubagem tradicional e método de Pressler. Para esta análise foi utilizado o teste de Chow (1960 citado por GREENE, 1997).

Tabela 5- Resultado do teste de identidade de modelos lineares.

Modelo	$F_{\text{calculado}}$	$F_{\text{Tabelado}(5\%)}$	Teste
2	2,74	3,22	n.s.

n.s. – não significativo ($p > 0,05$) pela distribuição $F(H_0)$; o modelo 2 é o de Spurr.

Pela análise da Tabela 5 verifica-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que F_{Tabelado} , assim não se rejeita a hipótese H_0 . Desta forma assume-se que para o modelo de Spurr ajustado a partir do método de Pressler é estatisticamente idêntico ao ajustado a partir da cubagem tradicional. Isto indica que os parâmetros ajustados para o modelo de Spurr nas duas situações analisadas são estatisticamente idênticos ao nível de 5% de probabilidade.

Para o povoamento em estudo o volume de Pressler pode ser utilizado no ajuste do modelo de Spurr. Esta inferência é reforçada pelo fato de que o modelo em questão apresentou boas medidas de precisão, tais como $\bar{R}^2 = 0,9314$ e $S_{yx\%} = 12,04$, além de uma exatidão aceitável, como demonstrado pelo teste de identidade de modelos. Neste sentido, apesar do modelo de Schumacher-Hall também apresentar boas medidas de

precisão, seu uso não é recomendado pois não foi verificada identidade entre os modelos ajustados a partir dos dois métodos.

Esta observação pode também ser fundamentada pela distribuição dos resíduos percentuais, como mostrado na Figura 4. Nesta Figura pode-se perceber que tanto a magnitude quanto a distribuição dos erros percentuais observados, são aparentemente mais similares entre o modelo de Spurr ajustado a partir dos dois métodos em estudo. Neste sentido, o mesmo não ocorre com o modelo de Schumacher-Hall. Neste caso, para a equação ajustada a partir do método de Pressler, é possível perceber que é maior a magnitude dos erros percentuais, principalmente para árvores com DAP inferior a 20 cm.

5 CONCLUSÕES

Os métodos de cubagem rigorosa tradicionais implicam na derrubada de várias árvores para que se possam obter dados úteis para o ajuste de modelos volumétricos. Desta forma pode-se pressupor que tal atividade é muito onerosa em recursos e tempo. Desta forma é bastante interessante a procura de alternativas que visem a redução no tempo e dificuldade de execução desta atividade sem que seja prejudicada a sua acurácia.

Os resultados mostraram que houve similaridade entre os volumes determinados a partir do método de cubagem tradicional e método de Pressler. Os modelos volumétricos de dupla entrada ajustados, apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado (acima de 90%) e também um erro-padrão das estimativas satisfatório (entre 8,56% e 14,09%), o que é esperado quando se trabalha com modelos volumétricos de dupla entrada.

As equações não lineares ajustados nas duas situações não apresentaram identidade, desta forma os volumes estimados por estas equações não podem ser considerados iguais. Entretanto, as equações lineares apresentaram identidade, desta forma para o povoamento em estudo a equação de Spurr ajustada a partir do volume de Pressler pode ser utilizada na estimativa do volume das árvores, sendo que o mesmo não pode ser dito para o modelo de Schumacher-Hall.

Para trabalhos futuros, poderiam ser utilizados dados provenientes de povoamentos de diferentes idades, tendo em vista que as árvores-amostra eram da mesma idade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, V. C. L. **Um método para descrever o perfil do tronco em árvores de eucalipto utilizando geometria analítica**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- ANDRADE, V. C. L.; LEITE, H. G. Uso da geometria analítica para descrever o taper e quantificar o volume de árvores individuais. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p.481-486, 1999.
- BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.
- CABACINHA, C.D. **Um Método Para a Realização do Inventário Florestal Suprimindo a Cubagem Rigorosa**. Lavras, MG: UFLA, 2003. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2003.
- CAMPOS, J.C.C. et al. Ainda sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, v.9, n.2, p.115-126, 1985.
- GIRARD, J.W. Volume tables for Mississippi bottomland hardwoods and southern pines. **Journal of Forestry**, v.31, n.1, p.34-41, 1933.
- GOMES, A.M.A. **Medição dos arboredos**. Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.
- GRAYBILL, F.A. **Theory and application of linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 413p.
- GREENE, W. H. **Econometric Analysis**. New Jersey: New York University, 1997. 1075 p.
- GUIMARÃES, D.P. **Novos métodos para estimativa do volume de árvores em pé**. EMBRAPA-CPAC, n.12, 16p. 1982. (Boletim de Técnico).
- HIGUCHI, N. **Amazônia Interesses e Conflitos - Manejo florestal na Amazônia**. 2000. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/amazonia/amaz13.htm>>. Acesso em: 20 out.2009.
- LEITE, F. S. L. **Estimativa do volume de madeira a partir do diâmetro da cepa em uma área explorada de floresta amazônica de terra firme**. Brasília, DF: UnB, 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

MACHADO, A.M.; FILHO, A.F. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003. 309p.

MACHADO, S.A.; NADOLNY, M.C. Comparação de métodos de cubagem rigorosa e de diversos comprimentos de seção. In: CONGRESSO FLORESTAL E DO MEIO AMBIENTE DO PARANÁ, 3., 1991, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS-SBEF, 1991. 376p.

PAULA NETO, F. Tabelas volumétricas com e sem casca para *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.1, n.1, p.31-54, 1977.

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.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. ZJESUS, R. M.; FRANÇA, J T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta amoazônica**, v.36, n.1, p.107-114, 2006.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria, UFSM/CEPEF-FATEC, 2006. 348 p.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal**: Técnicas de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira. Lavras:UFLA/FAEPE, 1997. 292p.

SILVA, G.F. et al. **Equações volumétricas para plantações de Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Paragominas, PA**. In: 4º Simpósio Latino-americano sobre Manejo Florestal. Santa Maria, 2008, p.345-351.

SILVA, J, A. Estimativa dos erros sistemáticos na cubagem de troncos pelo método de Hohenadl e Pressler. **Revista Floresta**, v. 9, n. 1, p.8-13, 1978.

SOARES, C.P.B.; NETO, F.P.de; SOUZA, A.L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa, UFV, 2006. 276p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. Relatório de Atividades 2008. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br>>. Acesso em: 17 mai. 2009.

STERNADT, G.H. Cubagem de toras de mogno – Comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras. 2001. 100 p: ill. **Livro – IBAMA – Laboratório de Produtos Florestais**, 2001. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/ambtec/documentos/PROCESSOS_DE_CUBAGEM_DE_TORAS_DE_MOGNO_impres%3o.doc>. Acesso em: 21 set. 2009.

THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p.319-327, 2006.

UFSM/SEMA-RS. Inventário Florestal Contínuo – RS. **Capítulo IV – Amostragem.** 138 –173p. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs/Cap_IV_Amostragem.pdf>. Acesso em:17 nov. 2009.

VEIGA, R.A.A.; CARVALHO, C.M. BRASIL, M.A. M. Determinação de equações de volume para árvores de *Acácia mangium* Willd. **Cerne**, v.6, n.1, p.103-107, 2000.