

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

EDSON LACHINI

EFEITO DA IDADE NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES  
DE *Pinus caribaeavar.hondurensis* E *Pinus oocarpa*

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2012

EDSON LACHINI

EFEITO DA IDADE NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES  
DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa*

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2012

EDSON LACHINI

EFEITO DA IDADE NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES  
DE *Pinus caribaea* var. *hondurensis* E *Pinus oocarpa*

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 13 de outubro de 2012

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça

DCFM/CCA/UFES

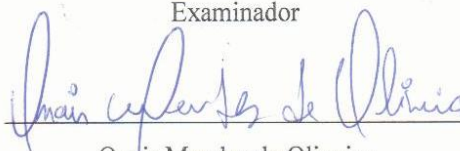
Orientador



Rafael Bridi Corteletti

DCFM/CCA/UFES

Examinador



Onair Mendes de Oliveira

DCFM/CCA/UFES

Examinador

Não ande atrás de mim, talvez eu não saiba liderar.  
Não ande na minha frente, talvez eu não queira segui-lo.  
Ande ao meu lado, para podermos caminhar juntos.

Provérbio Ute

"O que você pensa sobre mim não vai mudar quem eu sou,  
Mais pode mudar o meu conceito sobre você".

Hugh Laurie.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora, por dar-me saúde, paz e alegria para enfrentar os desafios da vida sem me abalar e poder deslumbrar de mais uma conquista.

Aos meus pais por seus esforços no financiamento dos meus estudos, pela criação e princípios da vida. Ao meu pai pelo ensinamento da humildade. À minha mãe pelo conforto nos momentos difíceis e por sempre acreditar em mim.

Aos meus irmãos Romulo e Emanuel apesar das discussões que temos, são as pessoas mais importantes na minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Adriano Ribeiro de Mendonça, pela oportunidade de crescimento, aprendizado e pela confiança em mim depositada.

A meu amigo M. Sc. Elter Martins dos Santos, por ter me auxiliado com seus conhecimentos sobre o assunto.

A minha namorada Beatriz por todo amor, incentivo e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus amigos por todos os momentos e alegrias compartilhadas.

À Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de cursar a graduação em um curso de excelência.

**OBRIGADO!**

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da idade na estimativa de volume total de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. Os dados utilizados foram obtidos da cubagem rigorosa de árvores-amostra com 5, 6 e 7 anos, provenientes da Empresa Caxuana, localizada no município de Nova Ponte, Minas Gerais, Brasil. Foram avaliados 2 (dois) modelos, escolhidos na literatura, para estimativa de volume das árvores. Posteriormente, as equações geradas foram submetidas aos testes de identidade de modelos. Os modelos foram avaliados por meio do erro padrão relativo [ $S_{YX}$  (%)] e análise gráfica dos valores estimados versus valores estimados. Foi observado que o modelo de Spurr apresentou vantagem sobre o modelo de Schumacher e Hall para obtenção de equações para obtenção do volume, podendo assim fazer junção nas idades 5 e 6 anos e 6 e 7 anos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e 5 e 6 anos para *Pinus oocarpa*. Já para o modelo de Schumacher e Hall pode-se fazer a junção nas idades 5 e 6 anos para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*. O teste de identidade de modelos foi importante pois mostrou que se pode juntar árvores de diferentes idades para as duas espécies em questão em uma equação o que economiza o esforço de utilizar várias equações para diferentes idades.

Palavras chave: Equações volumétricas. Identidade de modelos. *Pinus* tropicais.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problema e sua Importância .....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Objetivo geral .....	2
1.3.1 Objetivo específico .....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1 O gênero <i>Pinus</i> .....	4
2.2 Volumetria de árvores .....	5
2.3 Identidades de modelos .....	9
2.4 Idade das árvores .....	10
3. METODOLOGIA.....	11
3.1 Caracterização da área.....	11
3.2 Modelos avaliados .....	12
3.3 Testes de identidade de modelos .....	13
3.3.1 Modelo linear .....	13
3.3.2 Modelo não linear .....	15
3.4 Análise dos modelos.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
4.1 <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	17
4.1.1 Modelo de Spurr .....	17
4.1.2 Modelo de Schumacher e Hall.....	22
4.1.3 Escolha dos modelos para estimativa do volume de árvores de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> .....	26
4.2 <i>Pinus oocarpa</i> .....	27
4.2.1 Modelo de Spurr .....	28
4.2.2 Modelo de Schumacher e Hall.....	29

4.2.3 Escolha dos modelos para estimativa do volume de árvores de <i>Pinus oocarpa</i> .....	30
5. CONCLUSÕES .....	31
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	32



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Distribuição diamétrica das árvores-amostra para estimativa da relação hipsométrica de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. .....11
- Tabela 2 - Distribuição diamétrica das árvores-amostra para estimativa do volume de árvores de *Pinus oocarpa* .....12
- Tabela 3 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear. ....15
- Tabela 4 - Estatísticas de ajuste dos modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 , 6 e 7 anos, conjuntamente.....17
- Tabela 5 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo de Spurr em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 5, 6 e 7 anos conjuntamente. ....18
- Tabela 6 - Estatísticas de ajuste para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 6 anos, conjuntamente.....19
- Tabela 7 - Estatísticas de ajuste dos modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 7 anos, conjuntamente.....19
- Tabela 8 - Estatísticas de ajuste para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 6 e 7 anos, conjuntamente.....20
- Tabela 9 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 5 e 6 anos conjuntamente. ....21

Tabela 10 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> nas idades 5 e 7 anos conjuntamente. ....	21
Tabela 11 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> nas idades 6 e 7 anos conjuntamente .....	21
Tabela 12 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> para as idades 5 , 6 e 7 anos. ....	22
Tabela 13 - Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> para as idades 5 , 6 e 7 anos. ....	23
Tabela 14 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> para as idades 5 e 6 anos. ....	24
Tabela 15 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> para as idades 5 e 7 anos. ....	24
Tabela 16 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> para as idades 6 e 7 anos. ....	25
Tabela 17 - Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall. .	25
Tabela 18 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus oocarpa</i> para as idades 5 e 6 anos.....	28
Tabela 19 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear. ....	28

Tabela 20 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de <i>Pinus oocarpa</i> para as idades 5 e 6 anos.....	29
Tabela 21 - Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume de árvores de <i>Pinus oocarpa</i> . ....	30

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* .para o modelo de Spurr e para o modelo de Schumacher e Hall para as idades 5 e 6 anos conjuntamente. ----- 26
- Figura 2 - Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* .para o modelo de Spurr e para o modelo de Schumacher e Hall para as idades 7 anos. ----- 27
- Figura 3 - Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus oocarpa*. para o modelo de Spurr e para o modelo de Schumacher e Hall para as idades 5 e 6 anos conjuntamente. ----- 30

## 1. INTRODUÇÃO

A estimativa do volume das árvores em povoamentos florestais é atividade corriqueira na área de biometria, inventário, manejo, economia e planejamento florestal (SCOLFORO, 2005). Para a obtenção de volumes de um povoamento é necessária a realização de um inventário florestal que consiste na medição de unidades amostrais ou parcelas, para depois extrapolar os resultados para a área total. Assim, visando o planejamento florestal têm-se estimativas da quantidade de madeira disponível (LEITE; ANDRADE, 2002).

Nos inventários florestais, de regra é feita a medição da altura total ( $H$ ) de algumas árvores e do diâmetro a 1,30 m do solo ( $DAP$ ) de todas as árvores da unidade amostral. Também, é comum realizar a cubagem rigorosa para a obtenção do volume individual ( $vi$ ) das mesmas. Com os dados de  $DAP$ ,  $H$  e  $vi$ , são geradas as equações para a estimativa do volume das árvores das unidades amostrais, permitindo que seja determinada a produção de madeira. (MENDONÇA, 2010).

A medição de volume em uma floresta é uma tarefa que requer muito tempo e gastos. Para diminuir este problema são utilizados os modelos volumétricos. Estes modelos devem ser ajustados de forma a representar as variações dos povoamentos florestais como a espécie, o sítio, a densidade e a idade.

Segundo Girard (2005), a modelagem do volume individual de árvores começou a ser desenvolvida na primeira metade do século XX, após o desenvolvimento de técnicas de análise de regressão. No entanto, o uso dessas técnicas realmente tomou maior impulso após o surgimento dos computadores, notadamente a partir da década de 50. Mas, um grande número de equações é gerado, o que dificulta o trabalho do profissional responsável pelas estimativas de produção de uma determinada empresa. Contudo, esse trabalho, pode ser feito gerando uma única regressão, de forma a diminuir o número de equações (SCOLFORO, 2005).

Ao estudar diferentes situações experimentais admitindo um modelo para cada situação, pode-se verificar se os modelos são idênticos, mostrando possível ou não a representação do conjunto de equações por meio de uma equação comum (REGAZZI, 1996).

A identidade de modelos é utilizada para avaliar uma ou mais variáveis de interesse entre diferentes espécies. Como exemplos têm-se a verificação se a forma do fuste de dois clones é a mesma ou se as espécies de floresta nativa têm o mesmo comportamento em volume (SCOLFORO, 2005).

Sendo assim, a busca de métodos e modelos mais precisos, é desejável, pois é de acordo com estas estimativas volumétricas que são feitas as extrapolações para um povoamento florestal. Porém, também, deve-se levar em consideração a capacidade produtiva do local, dependendo assim que sua idade seja conhecida. Com isso, tornará possível fazer inferências sob seu desenvolvimento em volume e altura, uma vez que, a idade influencia diretamente no crescimento da árvore (HUSCH et al.,1993). Também causa efeitos nas características físico-químicas e anatômicas das árvores tornando assim uma variável de extrema importância no Manejo Florestal (VITAL et al.,1984). A idade constitui a primeira variável independente considerada nos estudos de crescimento e produção de florestas plantadas.

## **1.1 O problema e sua importância**

O volume de um povoamento é obtido por meio dos inventários florestais, que requerem muito tempo e recursos para realizá-los. Para diminuir este problema são utilizados os modelos volumétricos. Desta forma, qualquer iniciativa que permita a redução do tempo de execução da cubagem rigorosa, nas marcações de parcelas e medição das unidades amostrais, sem que seja prejudicada a precisão de sua estimativa, podendo resultar em grandes alterações no custo desta atividade, proporcionando redução no gasto de recursos sejam eles, financeiros ou materiais.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da idade na estimativa do volume de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Para alcançar os resultados esperados foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Aplicar a identidade de modelos na estimativa do volume de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* em diferentes idades;
- b) Obter equações ajustadas para estimativa do volume de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* em diferentes idades.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O gênero *Pinus*

A supressão das florestas nativas do Brasil, principalmente das Florestas de Araucária nativas do Sul do país devido à expansão agrícola, e da crescentedemanda de madeira para suprir o mercado madeireiro, o governo brasileiro em meados dos anos 1960 instituiu o programa de incentivo fiscal ao reflorestamento (EMBRAPA, 2011). Os plantios comerciais iniciaram-se sob-regime de silvicultura intensiva nas regiões Sul e Sudeste onde a demanda de madeira era de extrema importância.

Os plantios florestais brasileiros basearam-se em espécies exóticas, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, por possuírem crescimento elevado comparado com as outras espécies. Com isso, estes gêneros foram à base para a reposição de florestas nativas no Brasil.

Segundo Guimarães (2005), as principais utilizações do *Pinus* no Brasil são para silvicultura ou estabilização do solo. Os primeiros plantios de *Pinus* no Brasil visaram à produção de madeira para abastecimento industrial, para o processamento mecânico, na produção de madeira serrada, madeira laminada e confecção de painéis, no processo de produção de celulose e papel, constituindo assim uma alternativa em substituição à madeira de *Araucaria angustifolia* (ZANCHETTA; DINIZ, 2006).

A área plantada com *Pinus* no Brasil (1.641.892 ha) está concentrada principalmente na região Sul do país (83,0%), devido às condições edafoclimáticas e à localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira. O Estado do Paraná lidera o *ranking* de área plantada de *Pinus* com 40,1% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 32,8% (ABRAF, 2012).

De acordo com Haag (1983 citado por Pacheco, 2010), as espécies pertencentes ao gênero *Pinus* possuem como principais características a altura variando de 3,0 m até 50,0 m, possuem fustes retilíneos e significativamente cilíndricos. As flores são denominadas estróbilos, comumente chamado de pinha, podendo estes ser femininos ou masculinos.



As espécies de *Pinus* mais difundidas no Brasil foram *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, introduzidas dos Estados Unidos e, em menor escala, *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa* (EMBRAPA, 2011).

De acordo com Shimizu (2005), a espécie *Pinus caribaea* compreende três variedades: *caribaea*, *hondurensis* e *bahamensis*, todas possuindo características de rápido crescimento e com bom potencial para produzir resinas. A variedade *hondurensis* ocorre na América Central, desde a Nicarágua estendendo-se até a parte Leste do México, em locais livres de geada, em altitudes desde o nível do mar até 700 m e, ocasionalmente, até 1.000 m, onde ocorrem precipitações médias anuais de 2.000 mm a 3.000 mm. É a variedade de *Pinus* mais plantada na região tropical brasileira (regiões Amazônica, Centro-Oeste, Central, Leste e Sudeste), abrangendo uma área de aproximadamente 700.000 ha.

O *Pinus oocarpa*, pelo seu potencial de crescimento em áreas de baixa fertilidade, vem sendo uma das espécies de coníferas mais plantadas em diversas regiões do Brasil, principalmente nos planaltos tropicais, uma vez que a espécie não se adapta às regiões de baixa altitude ou planícies costeiras (KAGEYAMA et al., 1977). Esta espécie é originária do México e da América Central, com ampla dispersão no sentido norte-sul, estendendo-se desde o deserto de Sonora, no noroeste do México e ao sul pelas encostas da Sierra Madre Ocidental, e as montanhas da Guatemala, Belize, El Salvador e Honduras até o noroeste da Nicarágua (EMBRAPA, 2011). O seu habitat natural situa-se em altitudes que variam de 300 m a 2.000 m, com precipitação média anual de até 2.000 mm (CÉSAR et al., 1988).

## **2.2 Volumetria de árvores**

O volume individual das árvores pode ser obtido de forma direta ou a partir de estimativas. No primeiro caso, recorre-se ao procedimento conhecido como cubagem rigorosa ou ao emprego de um xilômetro. No segundo caso, o volume das árvores é obtido pela estimativa realizada com o emprego de coeficientes que transformam o volume cilíndrico das árvores em volume real (fatores de forma), ou por meio de modelos estatísticos.

### 2.2.1 Cubagem rigorosa

A cubagem rigorosa consiste na determinação do volume real de árvores por meio da divisão do fuste em  $n$  seções (toras) e do cálculo do volume de cada uma dessas toras podendo ser realizada por processo de derrubada da árvore (destrutivo) ou com a árvore em pé (não-destrutivo). Nesse último caso, a árvore pode ser escalada, ou os dados coletados com o emprego de instrumentos como: o relascópio, telerelescópio, pentaprisma ou criterion. Outro procedimento consiste na obtenção do volume rigoroso da árvore com o emprego de um xilômetro, onde a árvore é derrubada, seccionada e o volume dessas toras determinado pelo princípio de deslocamento de água (MACHADO e FILHO, 2003).

Os métodos baseados em comprimentos absolutos e relativos são as formas mais comuns para obtenção do volume das árvores em uma cubagem rigorosa. Dentre os métodos baseados em comprimentos absolutos, destacam-se o método de Smalian, Newton e Huber, sendo a de Smalian a mais utilizada, como pode ser verificado em Couto e Bastos (1987), Batista et al. (2004), Thiersch et al. (2006), Tomé et al. (2007), Cardoso (2008) e Muniz (2009). As expressões de cálculo dos métodos absolutos são apresentadas pelas Equações 1, 2 e 3.

- Smalian

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} \cdot L \quad (1)$$

Em que:  $V$  = volume com ou sem casca ( $m^3$ );  $AS_1$  e  $AS_2$  = áreas seccionais com ou sem casca, obtidas nas extremidades da seção ( $m^2$ );  $L$  = comprimento da seção (m).

- Newton

$$V = \frac{AS_1 + 4 \cdot AS_{1/2} + AS_2}{6} \cdot L \quad (2)$$

Em que:  $AS_{1/2}$  = área seccional com ou sem casca, obtida na metade do comprimento da seção ( $m^2$ ).

- Huber

$$V = AS_{1/2} \cdot L \quad (3)$$

O volume total da árvore será obtido pela soma do volume do toco, com o volume das seções e o volume da ponta.

Quanto aos métodos de comprimentos relativos, citam-se os métodos de Hohenald e FAO, que consiste em dividir o tronco da árvore em seções com tamanhos relativos, normalmente em função da altura total da árvore.

### 2.2.2 Forma da árvore

Em uma floresta nativa ou plantada, pode-se observar que existe uma variação muito grande das formas de fustes das árvores, variações estas que quase sempre estão em função da diminuição do diâmetro da árvore. Com isso, a forma da árvore consiste na principal razão para a variação do volume dos indivíduos, variação que ocorre de acordo com a espécie, idade e condições de sítio (SILVA, 1979).

### 2.2.3 Equações de volume

As equações para determinação do volume sólido de essências florestais são de uso geral e indispensável no setor florestal. Como são geralmente empíricas, faz-se necessário ajustá-las com frequência para adaptá-las a diferentes espécies, idades, espaçamentos e regiões (VEIGA, 1984).

Os modelos de equações de volume são tradicionalmente aplicados às árvores em que maior parte do volume de madeira é constituída pelo tronco das árvores, porém algumas exceções a sua aplicação ocorrem em florestas tropicais nativas (FERNANDES et al., 1983; SOUZA e JESUS, 1991), no cerrado (PINHEIRO et al., 1985) e para espécies do semiárido nordestino (ZAKIA et al., 1990)

Segundo Finger (1992) e Scolforo (1997), as equações volumétricas podem ser classificadas como equações de simples, dupla e tripla entrada.

As equações de simples entrada o volume gerado é em função de apenas uma variável, o diâmetro à 1,30m do solo (*DAP*). É utilizada quando existir uma forte

correlação entre essas variáveis de modo que se possa explicar a altura por meio do diâmetro. Como exemplos para equações de simples entrada têm a Equação de Husch.

- Husch

$$\ln V_i = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln DAP_i + \ln \varepsilon_i \quad (4)$$

Em que:  $V_i$  = volume total da árvore  $i$  ( $m^3$ );  $DAP_i$  = diâmetro a 1,30m do solo (cm), da árvore  $i$ ;  $\beta_j$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

As equações de dupla entrada são utilizadas quando não existe certa homogeneidade entre altura e diâmetro dentro do povoamento. As equações de dupla entrada mais utilizadas são:

- Spurr

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 H_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

Em que:  $V_i$  = volume total da árvore  $i$  ( $m^3$ );  $DAP_i$  = diâmetro a 1,30m do solo (cm), da árvore  $i$ ;  $H_i$  = altura total da árvore  $i$  (m);  $\beta_j$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório.

- Schumacher & Hall

$$V_i = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2} + \varepsilon_i \quad (6)$$

- Stoate

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 H_i + \beta_2 DAP_i^2 + \beta_3 H_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

As equações de tripla entrada não são recomendadas, uma vez que 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 (OLIVEIRA, 2010).

## 2.3 Identidades de modelos

Uma das maneiras de tornar mais eficiente o uso dos recursos florestais é fazer uso de modelos estatísticos capazes de obter as estimativas próximas do valor do real da variável a ser estimada. A escolha e aplicação de modelos estatísticos são de fundamental importância, pois devem permitir ao manejador florestal a realização de estimativas precisas, tornando o planejamento mais eficaz (CARVALHO, 2010).

A busca de métodos e modelos mais precisos é desejável, pois de acordo com as estimativas volumétricas são geradas as inferências para o povoamento florestal. Os modelos podem ser classificados em modelos lineares e modelos não lineares. Os modelos lineares são equações em que os parâmetros estão na forma aditiva (SCOLFORO, 2005). Estes modelos devem ser determinados com base em conhecimentos teóricos do problema tratado, em alguns casos os modelos lineares podem não ser apropriados. As equações de natureza linear apresentam a forma genérica  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i$ .

Por definição, um modelo é não linear quando a primeira derivada da função com relação a algum dos parâmetros, ainda depende de algum dos parâmetros. São aqueles onde pelo menos um dos parâmetros não está na forma aditiva, podendo representar hipérbolas, formas exponenciais ou geométricas. Estes modelos devem ser determinados com base em conhecimentos teóricos do problema tratado, como nos casos em que modelos lineares podem não ser apropriados (ZEVIANI, 2009).

Regazzi e Silva (2004) citam autores que apresentaram métodos para testar hipóteses relativas à identidade de modelos, dentre eles Graybill (1976) e Regazzi (1993, 1999 e 2003). A identidade de modelos é utilizada para avaliar uma ou mais variáveis de interesse. Como exemplo da utilização da identidade de modelos, tem-se o trabalho de Martins et. al. (2007) que verificaram se as curvas de sítio ajustada a povoamentos de *Leucaena leucocephala* em experimentos tratados com composto orgânico e sem composto orgânico são idênticas; Camolesi (2007), que estudou a volumetria e teor alfa bisabolol para a candeia *Eremanthus erythropappus*; Nogueira et al. (2008), que avaliaram a influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de

árvores de *Pinus taeda*; Pacheco (2010) que avaliou a identidade de modelos linear e não linear para volume de *Pinus caribea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*.

## 2.4 Idade das árvores

Segundo Assmann (1970 citado por TONINI, 2003), quando se tem como objetivo principal utilizar a madeira que é produzida em uma floresta para fins comerciais, o fator tempo assume especial importância, traduzindo o tempo físico decorrido desde a implantação da floresta até o momento atual. A capacidade produtiva de árvores e povoamentos depende de sua idade, e, somente se a idade é conhecida, torna-se possível fazer inferências sob o desempenho de árvores ou povoamentos, (OLIVEIRA, 2010). De acordo com Souza (1973), a idade da árvore é o número de anos transcorridos desde a germinação da semente, até o momento em que é observado ou medido.

Com base na idade, pode-se acompanhar a evolução de todas as fases de crescimento de uma espécie florestal em um determinado local (BRENA e PEDRO BOM, 1991 citados por OLIVEIRA, 2010). Na mensuração florestal a idade de uma árvore é uma variável de extrema importância na estimativa da produção florestal. Também é utilizada nas avaliações do crescimento e da produtividade de um sítio e nos planejamentos florestais. A idade é também utilizada como ferramenta nas atividades das práticas silviculturais, na determinação do crescimento atual e futuro da floresta e nas decisões dos planos de manejo.

Quando o tamanho de um organismo (volume, peso, diâmetro ou altura) é relacionado com a sua idade, a curva assim definida é chamada de curva de crescimento. As curvas em forma de S ou sigmóide mostram o tamanho acumulado da variável em qualquer idade. Entretanto, a curva de crescimento verdadeira resulta da relação do incremento sobre a idade (HUSCH et al ,1982).

De acordo com o mesmo autor, ele afirma que ao se trabalhar com curvas de crescimento, deve-se compreender que cada espécie, ou talvez cada árvore, necessita de um tempo próprio para a sua construção. Este tempo fisiológico varia com a espécie e estágio de desenvolvimento.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área

Os dados utilizados foram obtidos por meio de cubagem rigorosa de árvores-amostra de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*, provenientes da Empresa Caxuana, localizada no município de Nova Ponte, Minas Gerais, Brasil. A empresa situa-se a 900 metros de altitude do nível do mar e tem sua posição determinada pelas coordenadas 19° 14' 44" latitude sul e 47° 46' 29" latitude oeste, apresentando relevo praticamente plano a suave ondulado (0 a 5%), solos, predominantemente, latossolo vermelho-escuro, temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 1.700 mm (CAXUANA, 2010).

As árvores-amostra utilizadas são oriundas de povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 5, 6 e 7 anos de idade e *Pinus oocarpa*, com 5 e 6 anos e espaçamento de 3x2m. Foi feita a cubagem rigorosa, e medidos os diâmetros nas alturas de 0,1m; 0,7m; 1,30m; 2,00m; 3,0m; 4,0m; 5,0m; e depois de 2 em 2 m, além da altura total da árvore. O volume das seções foi obtido a partir do método de Smalian.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentas as distribuições de frequência por classe de diâmetro e de altura, nas árvores amostras de *P. caribaea* var. *hondurensis* e *P. oocarpa*, respectivamente.

Tabela 1 - Distribuição diamétrica das árvores-amostra para estimativa do volume de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Classe de DAP	Classe de altura total (H)				Total
	7,5	12,5	17,5	> 17,5	
7,5	9	6			15
12,5	18	34			52
17,5	1	49	26	8	84
22,5		13	28	24	65
27,5			8	33	41
32,5			2	18	20
>32,5			1	37	38
Total	28	102	65	120	315

Tabela 2 - Distribuição diamétrica das árvores-amostra para estimativa do volume de árvores de *Pinus oocarpa*

Classe de <i>DAP</i>	Classe de altura total ( <i>H</i> )			Total
	7,5	12,5	17,5	
7,5	17	4		21
12,5	11	22		33
17,5	1	17		18
22,5		3	1	4
Total	29	46	1	76

### 3.2 Modelos avaliados

Os modelos escolhidos, reduzidos e completos, para estimativa volumétrica de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram as Equações 8 e 9 para o modelo Spurr e Equações 11 e 12 para o modelo de Schumacher e Hall, enquanto para o *Pinus oocarpa* formam as Equações 8 e 10 e para o modelo de Spurr as Equações 11 e 13 para o modelo de Schumacher e Hall.

- Spurr

$$V_i = \beta_0 + \beta_1 DAP_i^2 H_i + \varepsilon_i \quad (\text{reduzido}) \quad (8)$$

$$V_i = \beta_{05} D_5 + \beta_{06} D_6 + \beta_{07} D_7 + \beta_{15} D_5 DAP_i^2 H_i + \beta_{16} D_6 DAP_i^2 H_i + \beta_{17} D_7 DAP_i^2 H_i + \varepsilon_i \quad (\text{completo}) \quad (9)$$

$$V_i = \beta_{05} D_5 + \beta_{06} D_6 + \beta_{15} D_5 DAP_i^2 H_i + \beta_{16} D_6 DAP_i^2 H_i + \varepsilon_i \quad (\text{completo}) \quad (10)$$

Em que:  $V_i$  = volume total da árvore  $i$  ( $m^3$ );  $DAP_i$  = diâmetro a 1,30m do solo, da árvore  $i$ ;  $H_i$  = altura total da árvore  $i$  (m);  $\beta_j$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório,  $D_j = 1$ , se a árvore pertencer a idade  $j$  e 0, caso contrario;  $\beta_{kj}$  = parâmetro  $k$  do modelo para a idade  $j$ .



- Schumacher e Hall

$$V_i = \beta_0 DAP_i^{\beta_1} H_i^{\beta_2} + \varepsilon_i \text{ (reduzido)} \quad (11)$$

$$V_i = (\beta_{05}D_5 + \beta_{06}D_6 + \beta_{07}D_7)DAP_i^{(\beta_{15}D_5 + \beta_{16}D_6 + \beta_{17}D_7)} H_i^{(\beta_{25}D_5 + \beta_{26}D_6 + \beta_{27}D_7)} + \varepsilon_i \text{ (completo)}. \quad (12)$$

$$V_i = (\beta_{05}D_5 + \beta_{06}D_6)DAP_i^{(\beta_{15}D_5 + \beta_{16}D_6)} H_i^{(\beta_{25}D_5 + \beta_{26}D_6)} + \varepsilon_i \text{ (completo)} \quad (13)$$

Em que:  $V_i$  = volume total da árvore  $i$  ( $m^3$ );  $DAP_i$  = diâmetro a 1,30m do solo, da árvore  $i$ ;  $H_i$  = altura total da árvore  $i$  (m);  $\beta_j$  = parâmetros do modelo;  $\varepsilon_i$  = erro aleatório,  $D_j = 1$ , se a árvore pertencer a idade  $j$  e 0, caso contrario;  $\beta_{kj}$  = parâmetro  $k$  do modelo para a idade  $j$ .

### 3.3 Testes de identidade de modelos

Para avaliar a identidade de modelos lineares e não-lineares foram testados os modelos reduzidos e os modelos completos.

#### 3.3.1 Modelo linear

A matriz das estimativas dos parâmetros para o modelo completo é obtida a partir da Equação (14).

$$\tilde{\beta} = (\tilde{X}'\tilde{X})^{-1}(\tilde{X}'\tilde{Y}) \quad (14)$$

Em que:  $\tilde{\beta}$  = vetor de parâmetros estimados;  $\tilde{X}$  = matriz da variável independente;  $\tilde{Y}$  = vetor da variável dependente.

De acordo com Graybill (1976), utilizando-se a notação matricial para o modelo completo, tem-se a Equação (15):

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \tilde{\beta} + \tilde{\varepsilon} \quad (15)$$

Em que:  $\tilde{\varepsilon}$  : vetor de erros aleatórios

Para o ajuste do modelo linear simples de Spurr, na sua forma completa, como exemplo para o caso de 3 (três) idades diferentes, têm-se:

$$\underset{\sim}{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{12} \\ \vdots \\ Y_{1n_1} \\ Y_{21} \\ Y_{22} \\ \vdots \\ Y_{2n_2} \\ \vdots \\ Y_{3n_3} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & X_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{1n_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & X_{21} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & X_{22} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 1 & X_{2n_2} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_{3n_3} \end{bmatrix} \quad \underset{\sim}{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_{01} \\ \beta_{11} \\ \beta_{02} \\ \beta_{12} \\ \beta_{03} \\ \beta_{13} \end{bmatrix} \quad \underset{\sim}{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \\ \vdots \\ \varepsilon_{1n_1} \\ \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{22} \\ \vdots \\ \varepsilon_{2n_2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{3n_3} \end{bmatrix}$$

Em que:  $n_i$  = número de observações na idade  $i$ , sendo 1 = 5 anos, 2 = 6 anos e 3 = 7 anos;  $Y_{ij}$  = volume ( $V$ ) da árvore  $j$  na idade  $i$ .

A matriz das estimativas dos parâmetros, para o modelo reduzido, é obtida a partir da Equação (16).

$$\underset{\sim}{\theta} = (\underset{\sim}{Z}' \underset{\sim}{Z})^{-1} (\underset{\sim}{Z}' \underset{\sim}{Y}) \quad (16)$$

Em que:  $\underset{\sim}{\theta}$  = vetor de parâmetros estimados;  $\underset{\sim}{Z}$  = matriz da variável independente.

Utilizando-se a notação matricial, o modelo reduzido é obtido pela Equação (17).

$$\underset{\sim}{Y} = \underset{\sim}{Z} \underset{\sim}{\theta} + \underset{\sim}{\varepsilon} \quad (17)$$

Em que:

Para o ajuste do modelo linear simples de Spurr, na sua forma reduzida, como exemplo para o caso de 3 (três) idades diferentes, têm-se:

$$\underset{\sim}{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{12} \\ \vdots \\ Y_{1n_1} \\ Y_{21} \\ Y_{22} \\ \vdots \\ Y_{2n_2} \\ \vdots \\ Y_{3n_3} \end{bmatrix} \quad \underset{\sim}{Z} = \begin{bmatrix} 1 & Z_{11} \\ 1 & Z_{12} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Z_{1n_1} \\ 1 & Z_{21} \\ 1 & Z_{22} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Z_{2n_2} \\ \vdots & \vdots \\ 1 & Z_{3n_3} \end{bmatrix} \quad \underset{\sim}{\theta} = \begin{bmatrix} \theta_0 \\ \theta_1 \end{bmatrix} \quad \underset{\sim}{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{12} \\ \vdots \\ \varepsilon_{1n_1} \\ \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{22} \\ \vdots \\ \varepsilon_{2n_2} \\ \vdots \\ \varepsilon_{3n_3} \end{bmatrix}$$

A análise de variância para testar a identidade dos modelos de regressão é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3– Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear

Fonte de Variação	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>F<sub>c</sub></i>
Modelo Completo	( <i>hp</i> )	$\beta' X' Y$		
Modelo Reduzido	<i>p</i>	$\theta' Z' Y$		
Diferença para testar hipótese	( <i>h-1</i> ) <i>p</i>	$SQ_{(completo)} - SQ_{(reduzido)}$	$\frac{SQ_{(diferença)}}{(h-1)p}$	$\frac{QM_{(diferença)}}{QM_{(resíduo)}}$
Resíduo	<i>n-hp</i>	$SQ_{(total)} - SQ_{(completo)}$	$\frac{SQ_{(resíduo)}}{n-hp}$	
Total	<i>n</i>	$Y'Y$		

Em que: *h*= número de idades amostradas; *p*= número de parâmetros do modelo; *n*= número de observações; *GL*= grau de liberdade; *SQ*= soma de quadrados; *QM*: quadrado médio; *F<sub>c</sub>*= estatística F.

Assim, se  $F_c < F_{\alpha [(h-1)p, n-hp]}$ , a um nível de significância  $\alpha$ , as equações das *h* idades são idênticas. Deste modo, a equação ajustada com as estimativas dos parâmetros comuns, pode ser usada como uma estimativa das *h* equações envolvidas.

### 3.3.2 Modelo não linear

De acordo com Scolforo (2005), as hipóteses avaliadas no teste de identidade de modelos não lineares são:  $H_0$ = o modelo reduzido ajustado para as três idades é idêntico aos modelos completos ajustados para cada idade;  $H_a$ = não  $H_0$ .

Por meio do teste proposto por Regazzi e Silva (2004) será calculado o valor de  $\chi_c^2$  pela Equação (18) :

$$\chi_c^2 = -n \cdot \ln \left( \frac{SQR_{(completo)}}{SQR_{(reduzido)}} \right) \quad (18)$$

Em que:  $\chi_c^2$  = estatística qui-quadrado;  $\ln$ = logaritmo neperiano;  $SQR_{(reduzido)}$  = soma de quadrado dos resíduos do modelo reduzido;  $SQR_{(completo)}$  = soma de quadrado dos resíduos do modelo completo.

Para testar as hipóteses acima é comparado o valor de  $\chi_c^2$  com o valor crítico tabelado ( $\chi_\alpha^2$ ). O valor de  $\chi_\alpha^2$  será obtido por meio dos graus de liberdade da diferença entre o modelo completo e o modelo reduzido a 5% de probabilidade. Assim se  $\chi_c^2$  for

maior que o valor crítico fornecido pela tabela, ao nível de 5% de significância, rejeita-se a hipótese nula ( $H_0$ ) e, com isso, conclui-se que não se pode utilizar o modelo reduzido para representar as idades avaliadas.

No ajuste dos modelos completo e reduzido foi utilizado o software estatístico R versão 2.13, obtendo as estimativas dos parâmetros do modelo.

### 3.4 Análise dos modelos

Os modelos serão comparados por meio do erro padrão relativos [Syx (%)], de acordo com a Equação (19)

$$S_{yx}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-p}}}{\bar{Y}} \quad (19)$$

Em que:  $d_i = Y - \hat{Y}$ ;  $Y$  = volume (V) observado;  $\hat{Y}$  = volume (V) estimado pelo modelo;  $n$  = número de observações;  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $\bar{Y}$  = média dos volumes.

Será utilizada, também, a análise gráfica dos valores estimados *versus* valores observados para a comparação entre os modelos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

#### 4.1.1 Modelo de Spurr

As estatísticas de ajuste obtidas para o modelo de Spurr, completo e reduzido, para as idades 5, 6 e 7 anos, estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4- Estatísticas de ajuste dos modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5, 6 e 7 anos, conjuntamente

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}= 13,71\%$ )				
$\beta_{05}$	$6,2062 \times 10^{-3}$	$4,9299 \times 10^{-3}$	1,26	<0,001
$\beta_{15}$	$3,6613 \times 10^{-5}$	$2,4528 \times 10^{-7}$	149,27	<0,001
$\beta_{06}$	$9,7467 \times 10^{-3}$	$9,7467 \times 10^{-3}$	0,89	<0,001
$\beta_{16}$	$3,2921 \times 10^{-5}$	$3,3640 \times 10^{-6}$	9,78	<0,001
$\beta_{07}$	$1,0718 \times 10^{-2}$	$9,5411 \times 10^{-3}$	1,12	<0,001
$\beta_{17}$	$3,2381 \times 10^{-5}$	$1,6692 \times 10^{-6}$	19,40	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,87\%$ )				
$\beta_0$	$2,1390 \times 10^{-3}$	$3,6804 \times 10^{-3}$	0,58	<0,001
$\beta_1$	$3,6661 \times 10^{-5}$	$2,2561 \times 10^{-7}$	162,51	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Os parâmetros dos modelos, para as idades de 5, 6 e 7 anos conjuntamente, foram significativos ( $p < 0,001$ ). O valor de  $S_{yx}(\%)$  dos modelos completo e reduzido foram 13,71% e 13,87% respectivamente,. Pacheco (2010), ao avaliar o teste de identidade de modelos linear e não linear para volume de *Pinus*, obteve um valor de  $S_{yx}(\%)$  para o modelo de Spurr completo e reduzido de 7,05 % e 7,12%, respectivamente, apresentando valores inferiores ao encontrados neste estudo.

Por meio do quadro de análise de variância, apresentado na Tabela 5, pode-se visualizar que o valor de  $F_c$  na junção das idades 5, 6 e 7 anos é maior que o valor de  $F_\alpha$ , o que nos leva a concluir que os modelos possuem diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Como os modelos se diferem, o modelo reduzido não pode

ser utilizado para estimativa do volume de árvores individuais de *P. caribaea* var. *hondurensis* nas diferentes idades.

Tabela 5- Análise de variância para o teste de identidade do modelo de Spurr em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 5, 6 e 7 anos, conjuntamente

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F <sub>c</sub>	F <sub>α</sub>
Modelo Completo	6	69,8799			
Modelo Reduzido	2	69,8520			
Diferença para testar hipótese	4	0,0280	0,0070	2,70	2,401
Resíduo	311	0,7996	0,0026		
Total	315	70,67955			

Em que: *GL*= graus de liberdade; *SQ*= soma de quadrados; *QM*: quadrado médio; *F<sub>c</sub>*= estatística *F* calculada.

Como foi significativo o teste de identidade de modelos, houve a necessidade de testar a junção das idades em pares, ou seja, 5-6 anos, 5-7 anos e 6-7anos.

As Tabelas 6, 7 e 8 contém os parâmetros para as idades de 5 e 6, 5 e 7 e 6 e 7 anos conjuntamente. O valor de  $S_{yx}(\%)$  dos modelos completo e reduzido foram semelhantes, com vantagem para o modelo reduzido para os pares de idade 5-6 (Tabela 6) e 6-7 anos (Tabela 8). Considerando esta estatística, ambos os modelos podem ser utilizados para estimativa volumétrica em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, para os pares de idades em questão. A Tabela 7 também apresentou valores semelhantes de  $S_{yx}(\%)$  dos modelos completo e reduzido com vantagem para o modelo Completo.

Tabela 6– Estatísticas de ajuste para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 6 anos, conjuntamente

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}=13,15$ %)				
$\beta_{05}$	$6,2062 \times 10^{-3}$	$5,4492 \times 10^{-3}$	1,13	<0,001
$\beta_{15}$	$3,6613 \times 10^{-5}$	$2,7112 \times 10^{-7}$	135,04	<0,001
$\beta_{06}$	$9,7467 \times 10^{-3}$	$1,2088 \times 10^{-2}$	0,80	<0,001
$\beta_{16}$	$3,2921 \times 10^{-5}$	$3,7184 \times 10^{-6}$	8,85	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,13$ %)				
$\beta_0$	$4,7221 \times 10^{-3}$	$4,6060 \times 10^{-3}$	1,02	<0,001
$\beta_1$	$3,6650 \times 10^{-5}$	$2,5532 \times 10^{-7}$	143,55	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Tabela 7– Estatísticas de ajuste dos modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 7 anos, conjuntamente

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}=13,01$ %)				
$\beta_{05}$	$6,206 \times 10^{-3}$	$5,346 \times 10^{-3}$	1,16	<0,001
$\beta_{15}$	$3,661 \times 10^{-5}$	$2,66 \times 10^{-7}$	137,64	<0,001
$\beta_{07}$	$1,071 \times 10^{-2}$	$1,034 \times 10^{-2}$	1,03	<0,001
$\beta_{17}$	$3,238 \times 10^{-5}$	$1,810 \times 10^{-6}$	17,88	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,07$ %)				
$\beta_0$	$2,393 \times 10^{-3}$	$4,502 \times 10^{-3}$	0,52	<0,001
$\beta_1$	$3,666 \times 10^{-5}$	$2,539 \times 10^{-7}$	144,38	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Tabela 8- Estatísticas de ajuste para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 6 e 7 anos, conjuntamente

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p >  t $
Completo ( $S_{yx} = 11,97\%$ )				
$\beta_{06}$	$9,7467 \times 10^{-3}$	$3,1706 \times 10^{-3}$	3,07	<0,001
$\beta_{16}$	$3,2921 \times 10^{-5}$	$9,7527 \times 10^{-7}$	33,75	<0,001
$\beta_{07}$	$1,0710 \times 10^{-2}$	$2,7661 \times 10^{-3}$	3,87	<0,001
$\beta_{17}$	$3,2381 \times 10^{-5}$	$4,8392 \times 10^{-7}$	66,91	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 11,88\%$ )				
$\beta_0$	$1,058 \times 10^{-2}$	$1,986 \times 10^{-3}$	5,23	<0,001
$\beta_1$	$3,247 \times 10^{-5}$	$4,142 \times 10^{-7}$	78,39	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Por meio dos quadros de análise de variância, visualizados nas Tabelas 9 e 11, nota-se que o valor de  $F_c$  na junção das idades 5 e 6 anos e 6 e 7 anos é menor que o valor de  $F_\alpha$ , o que nos leva a concluir que os modelos não possuem diferença ao nível de 5% de significância. Como os modelos não se diferem, o modelo reduzido pode ser utilizado para estimativa do volume de árvores individuais de *P. caribaea* var. *hondurensis* nesses pares de idade. Contudo, na Tabela 10, pode-se verificar que o valor de  $F_c$  na junção das idades 5 e 7 anos é maior que o valor de  $F_\alpha$ , assim como apresentado nas idades 5, 6 e 7 anos conjuntamente, o que nos leva a concluir que os modelos possuem diferença significativa ao nível de 5% de significância. Como os modelos se diferem, o modelo reduzido não pode ser utilizado para estimativa do volume de árvores individuais de *P. caribaea* var. *hondurensis* para esse par de idade.



Tabela 9- Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 5 e 6 anos, conjuntamente

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	$F_c$	$F_\alpha$
Modelo Completo	4	64,9513			
Modelo Reduzido	2	64,9470			
Diferença para testar					
hipótese	2	0,0043	0,0022	0,685	3,032
Resíduo	247	0,7806	0,0032		
Total	251	65,73191			

Em que:  $GL$ = graus de liberdade;  $SQ$ = soma de quadrados;  $QM$ : quadrado médio;  $F_c$ = estatística  $F$  calculada.

Tabela 10- Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 5 e 7 anos, conjuntamente

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	$F_c$	$F_\alpha$
Modelo Completo	4	64,9628			
Modelo Reduzido	2	64,9380			
Diferença para testar					
hipótese	2	0,0248	0,0124	4,075	3,030
Resíduo	261	0,7942	0,0030		
Total	265	65,75706			

Em que:  $GL$ = graus de liberdade;  $SQ$ = soma de quadrados;  $QM$ : quadrado médio;  $F_c$ = estatística  $F$  calculada.

Tabela 11- Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* nas idades 6 e 7 anos, conjuntamente

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	$F_c$	$F_\alpha$
Modelo Completo	4	1,3164			
Modelo Reduzido	2	1,3163			
Diferença para testar					
hipótese	2	0,0001	0,000059	0,273	3,079
Resíduo	110	0,0239	0,000217		
Total	114	1,340337			

Em que:  $GL$ = graus de liberdade;  $SQ$ = soma de quadrados;  $QM$ : quadrado médio;  $F_c$ = estatística  $F$  calculada.

#### 4.1.2 Modelo de Schumacher e Hall

As estimativas dos parâmetros obtidas para o modelo proposto por Schumacher e Hall estão representadas na Tabela 12.

Tabela 12– Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 , 6 e 7 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}=13,60$ %)				
$\beta_{05}$	0,000044	0,0000059	7,51	<0,001
$\beta_{15}$	1,943089	0,0244293	79,53	<0,001
$\beta_{25}$	1,006632	0,0451110	22,31	<0,001
$\beta_{06}$	0,000102	0,0000991	0,58	<0,001
$\beta_{16}$	1,815240	0,3784995	-0,33	<0,001
$\beta_{26}$	0,797401	0,4049071	-0,51	<0,001
$\beta_{07}$	0,000031	0,0000274	-0,46	<0,001
$\beta_{17}$	1,666678	0,1631227	-1,69	<0,001
$\beta_{27}$	1,416402	0,3936338	1,04	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,75$ %)				
$\beta_0$	0,0000362	0,00000385	9,38	<0,001
$\beta_1$	1,9392001	0,02433908	79,67	<0,001
$\beta_2$	1,0738532	0,03833924	28,01	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Nota-se, pela Tabela 12, que os parâmetros para as idades de 5, 6 e 7 anos conjuntamente foram significativos ( $p<0,001$ ). O valor de  $S_{yx}(\%)$  dos modelos completo e reduzido foram semelhantes, com vantagem para o modelo Completo, assim como apresentado pelo modelo de Spurr para as idades 5, 6 e 7 anos conjuntamente. Considerando esta estatística, ambos os modelos podem ser utilizados para estimativa volumétrica em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Nas junções das idades 5 6 e 7 anos o valor de  $\chi_c^2$  encontrado foi maior que  $\chi_\alpha^2$  a 5% de probabilidade, o que nos leva a rejeitar  $H_0$ . Isto significa que, a um nível de 5% de significância, o modelo completo e o modelo reduzido se diferem

estatisticamente, não permitindo a utilização do modelo reduzido, como ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13- Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 , 6 e 7 anos

Idade (anos)	GL	$\chi_c^2$	$\chi_\alpha^2$
5, 6 e 7	6	12,79	12,59

Em que: GL = graus de liberdade;  $\chi_c^2$  = Estatística qui-quadrado calculada;  $\chi_\alpha^2$  = valor crítico tabelado.

Como foi significativo o teste de identidade de modelos, houve a necessidade de testar a junção das idades em pares, ou seja, 5-6 anos, 5-7 anos e 6-7anos, como no modelo de Spurr.

As Tabelas 14, 15 e 16 contém os parâmetros para as idades de 5 e 6, 5 e 7 e 6 e 7 anos conjuntamente, respectivamente. Na Tabela 14 o valor de  $S_{yx}(\%)$  dos modelos completo e reduzido foram semelhantes, com vantagem para o modelo Reduzido. Considerando esta estatística, ambos os modelos podem ser utilizados para estimativa volumétrica em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Nas Tabelas 15 e 16, o valor de  $S_{yx}(\%)$  do modelo completo e reduzido foram semelhantes, com vantagem para o modelo Completo, assim como apresentado pelas idades 5 e 7 e 5, 6 e 7 anos conjuntamente no modelo de Spurr. Considerando esta estatística, o modelo completo é mais preciso para utilizar na estimativa volumétrica em *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para esses pares de idades em questão.

Tabela 14 – Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 6 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p >  t $
Completo ( $S_{yx} = 13,10\%$ )				
$\beta_{05}$	0,0000443	0,0000065	6,76	<0,001
$\beta_{15}$	1,9430917	0,0271140	71,66	<0,001
$\beta_{25}$	1,0066247	0,0500686	20,10	<0,001
$\beta_{06}$	0,0001022	0,0001100	0,52	<0,001
$\beta_{16}$	1,8152396	0,4200960	-0,30	<0,001
$\beta_{26}$	0,7973997	0,4494057	-0,46	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,07\%$ )				
$\beta_0$	0,00004	$5,619 \times 10^{-6}$	7,49	<0,001
$\beta_1$	1,9440	$2,700 \times 10^{-2}$	72,01	<0,001
$\beta_2$	1,0220	$4,640 \times 10^{-2}$	22,02	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Tabela 15– Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 5 e 7 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p >  t $
Completo ( $S_{yx} = 12,90\%$ )				
$\beta_{05}$	0,0000443	0,0000064	6,93	<0,001
$\beta_{15}$	1,9430886	0,0264756	73,38	<0,001
$\beta_{25}$	1,0066322	0,0488913	20,58	<0,001
$\beta_{07}$	0,0000315	0,0000297	-0,42	<0,001
$\beta_{17}$	1,6666776	0,1767925	-1,56	<0,001
$\beta_{27}$	1,4164023	0,4266205	0,96	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 13,06\%$ )				
$\beta_0$	$3,657 \times 10^{-5}$	$4,526 \times 10^{-6}$	8,08	<0,001
$\beta_1$	1,93942	$2,648 \times 10^{-2}$	73,20	<0,001
$\beta_2$	1,07189	$4,357 \times 10^{-2}$	24,58	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

Tabela 16– Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para as idades 6 e 7 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}=9,62\%$ )				
$\beta_{06}$	0,0001021	0,00002322	4,39	<0,001
$\beta_{16}$	1,8152377	0,08874274	20,45	<0,001
$\beta_{26}$	0,7676856	0,09454155	8,43	<0,001
$\beta_{07}$	0,0000314	0,00002405	-2,93	<0,001
$\beta_{17}$	1,6668330	0,09649591	-1,53	<0,001
$\beta_{27}$	1,4173557	0,13183982	4,70	<0,001
Reduzido ( $S_{yx}=10,45\%$ )				
$\beta_0$	$6,032 \times 10^{-5}$	$8,051 \times 10^{-6}$	7,49	<0,001
$\beta_1$	1,73623	$3,616 \times 10^{-2}$	47,99	<0,001
$\beta_2$	1,09856	$6,427 \times 10^{-2}$	17,08	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculada;  $p$  = p-valor;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão relativo.

A Tabela 17 apresenta os resultados do teste de identidade para o Modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Tabela 17- Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall

Idade (anos)	$GL$	$\chi_c^2$	$\chi_\alpha^2$
5 e 6	3	1,89	7,81
5 e 7	3	9,60	7,81
6 e 7	3	22,07	7,81

Em que:  $GL$  = graus de liberdade;  $\chi_c^2$  = Estatística qui-quadrado calculada;  $\chi_\alpha^2$  = valor crítico tabelado.

Nas junções das idades 5 e 6 anos, o valor de  $\chi_c^2$  encontrado foi menor que  $\chi_\alpha^2$  a 5% de significância, então não rejeita-se a hipótese  $H_0$ . Isto significa que, a um nível de 5% de significância, o modelo completo e o modelo reduzido não se diferem estatisticamente, o que permite a utilização do modelo reduzido. Pacheco (2010), ao avaliar a identidade de modelos para estimativa do volume de *Pinus*, verificou que os

modelos de Spurr e Schumacher e Hall representaram bem a distribuição real do volume das árvores. Verifica-se, assim, que os modelos não possuem grandes diferenças, o que comprova que o modelo reduzido pode ser usado. Porém nas junções das idades 5 e 7 anos, 6 e 7anos, anos o valor de  $\chi_c^2$  encontrado foi maior que  $\chi_\alpha^2$  a 5% de significância, o que nos leva a rejeitar  $H_0$ . Isto significa que, a um nível de 5% de significância, o modelo completo e o modelo reduzido se diferem estatisticamente, não permitindo a utilização do modelo reduzido.

#### 4.1.3 Escolha dos modelos para estimativa do volume de árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Na Figura 1 contém os gráficos de volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para os modelos reduzidos de Spurr e Schumacher e Hall para o par de idades de 5 e 6 anos.

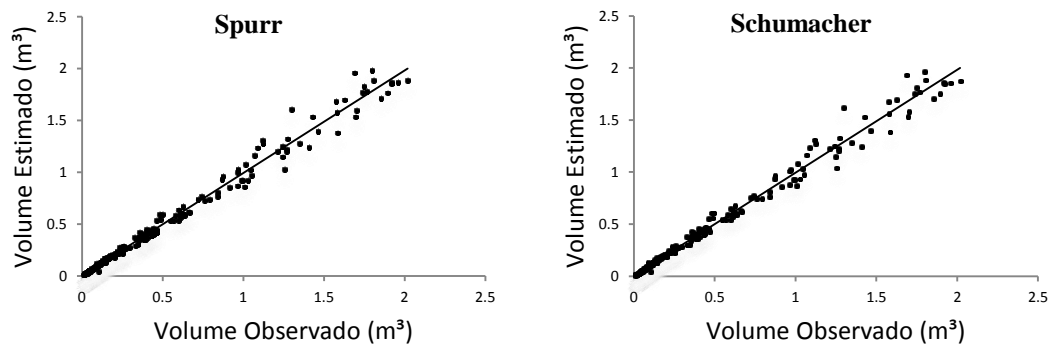


Figura 1- Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para os modelos reduzidos de Spurr e de Schumacher e Hall para as idades 5 e 6 anos conjuntamente.

Pelos resultados da Figura 1, nota-se a semelhança que ocorre entre os modelos analisados representando bem a distribuição real dos volumes. Verifica-se que os gráficos não possuem grandes diferenças, o que comprova que ambos os modelos podem ser usados na estimativa do volume de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Além disso, comparando os resultados das Tabelas 6 e 14, percebe-se que o modelo de Schumacher e Hall reduzido teve valor de  $Syx$  (%) menor, sendo mais precisos que o modelo de Spurr reduzido para a estimativa do volume. Esses resultados estão de acordo com Pacheco (2010), que também verificou uma maior precisão para o modelo de Schumacher e Hall reduzido quando testou a junção das espécies analisadas na idade de 5 anos.

A Figura 2 apresenta os gráficos de volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para os modelos de Spurr e de Schumacher e Hall para as idades 7 anos.

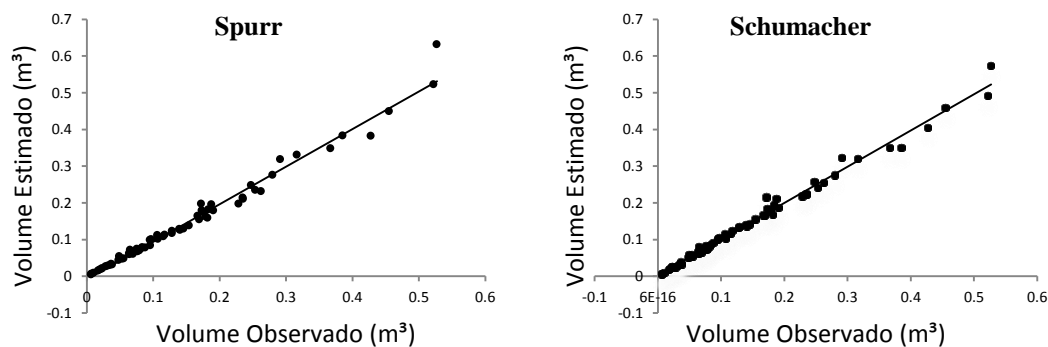


Figura 2 - Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para os modelos de Spurr e de Schumacher e Hall para as idades 7 anos.

Pelos resultados da Figura 2, percebe-se que os resultados foram idênticos aos da Figura 1, onde houve semelhança entre a distribuição dos volumes observados e estimados pelos modelos analisados.

O valor de  $Syx$  (%) para os modelo de Spurr e Schumacher e Hall foram 10,38 e 9,94 respectivamente. Percebe-se que o modelo de Schumacher e Hall apresentou valor de  $Syx$  (%) mais preciso que o modelo de Spurr para a estimativa do volume de árvore de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 7 anos de idade.

#### 4.2 *Pinus oocarpa*

#### 4.2.1 Modelo de Spurr

As estatísticas de ajuste obtidas para o modelo de Spurr, completo e reduzido, para as idades 5 e 6 anos, estão apresentadas na Tabela 18.

Analisando os resultados da Tabela 18, verifica-se que as estimativas dos parâmetros, foram significativas ao nível de 5% de probabilidade. Considerando o  $S_{yx}$  (%), o modelo completo apresentou valor superior ao modelo reduzido. Considerando esta estatística, verifica-se que o modelo reduzido é mais vantajoso na utilização da estimativa do volume das espécies estudadas.

Tabela 18 - Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Spurr completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus oocarpa* para as idades 5 e 6 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p> t $
Completo ( $S_{yx}=10,86\%$ )				
$\beta_{05}$	-0,0030	0,01224	-0,24	<0,001
$\beta_{15}$	$3,7363 \times 10^{-5}$	$4,38824 \times 10^{-7}$	85,14	<0,001
$\beta_{06}$	0,0068	0,01721	0,39	<0,001
$\beta_{16}$	$3,4213 \times 10^{-5}$	$6,16378 \times 10^{-6}$	5,55	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 10,78\%$ )				
$\beta_0$	$3,73 \times 10^{-5}$	$3,8532 \times 10^{-7}$	96,71	<0,001
$\beta_1$	$3,61 \times 10^{-5}$	$4,6788 \times 10^{-6}$	7,71	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística t calculado;  $p$  = probabilidade;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão residual.

A Tabela 19 apresenta a análise de variância para o teste de identidade do modelo linear de Spurr.

Tabela 19 - Análise de variância para o teste de identidade do modelo linear

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	$F_c$	$F_\alpha$
Modelo Completo	4	47,7485			
Modelo Reduzido	2	47,7479			
Diferença para testar					
hipótese	2	0,0006	0,0003	0,068	3,069
Resíduo	124	0,5400	0,0043		
Total	127	48,28485298			

Em que:  $GL$ = graus de liberdade;  $SQ$ = soma de quadrados;  $QM$ : quadrado médio;  $F_c$ = estatística  $F$  calculada



Na Tabela 19, pode-se verificar que o valor de  $F_c$  é menor que o valor de  $F_\alpha$ , o que nos leva a concluir que os modelos não possuem diferença ao nível de 5% de significância. Como os modelos não se diferem, o modelo reduzido pode ser utilizado para estimativa do volume de árvores individuais de *P. oocarpa* nas diferentes idades.

#### 4.2.2 Modelo de Schumacher e Hall

Na Tabela 20, os resultados da análise de variância para o teste de identidade do modelo de Schumacher e Hall são ilustrados.

Tabela 20- Estimativa dos parâmetros para os modelos volumétricos de Schumacher completo e reduzido na estimativa do volume total de *Pinus oocarpa* para as idades 5 e 6 anos

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	$t_c$	$p >  t $
Completo ( $S_{yx}=10,77\%$ )				
$\beta_{05}$	0,0000408	0,0000081	5,00	<0,001
$\beta_{15}$	2,0684757	0,0399255	51,80	<0,001
$\beta_{25}$	0,8954455	0,0636121	14,07	<0,001
$\beta_{06}$	0,0000734	0,0001285	0,25	<0,001
$\beta_{16}$	1,8405818	0,5914651	-0,38	<0,001
$\beta_{26}$	0,9026823	0,8698825	0,01	<0,001
Reduzido ( $S_{yx} = 10,66\%$ )				
$\beta_0$	$4,207 \times 10^{-5}$	$5,619 \times 10^{-6}$	7,48	<0,001
$\beta_1$	1,944	$2,700 \times 10^{-2}$	72,00	<0,001
$\beta_2$	1,022	$4,640 \times 10^{-2}$	22,01	<0,001

Em que:  $t_c$  = estatística  $t$  calculado;  $p$  = probabilidade;  $S_{yx}(\%)$  = erro padrão residual.

Analisando os resultados da Tabela 20, verifica-se que as estimativas dos parâmetros, foram significativas ao nível de 5% de probabilidade. Considerando o  $S_{yx}$  (%), o modelo completo apresentou valor superior ao modelo reduzido. Considerando esta estatística, verifica-se que o modelo reduzido é mais vantajoso na utilização da estimativa do volume das espécies estudadas.

Os resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume de árvores de *Pinus oocarpa* estão na Tabela 21.

Tabela 21- Resultados do teste de identidade para o modelo de Schumacher e Hall na estimativa do volume de árvores de *Pinus oocarpa*

Idade (anos)	GL	$\chi_c^2$	$\chi_\alpha^2$
5 e 6	3	0,47	7,81

Em que: GL = graus de liberdade;  $\chi_c^2$  = Estatística qui-quadrado calculada;  $\chi_\alpha^2$  = valor crítico tabelado.

Na junção das idades 5 e 6 anos,  $\chi_c^2$  encontrado foi menor que  $\chi_\alpha^2$  a 5% de significância, o que nos leva a não rejeitar  $H_0$ . A um nível de 5% de significância, o modelo completo e o modelo reduzido não se diferem estatisticamente, o que permite a utilização do modelo reduzido.

#### 4.2.3 Escolha dos modelos para estimativa do volume de árvores de *Pinus oocarpa*

A Figura 3 contém os gráficos de volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus oocarpa* para os modelos de Spurr e de Schumacher e Hall para as idades 5 e 6 anos conjuntamente.

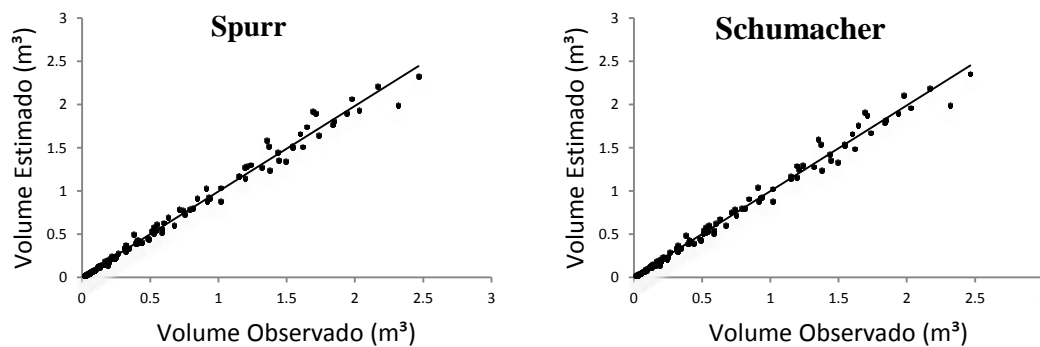


Figura 2 - Volume estimado *versus* volume observado da espécie *Pinus oocarpa*. para o modelo de Spurr e para o modelo de Schumacher e Hall para as idades 5 e 6 anos conjuntamente.

Pela análise gráfica demonstrada na Figura 3, assim como apresentado nas Figuras 1 e 2, nota-se a semelhança que ocorre entre os modelos analisados, representando bem a distribuição real do volume. Verifica-se que os gráficos não possuem grandes diferenças, o que comprova que ambos os modelos podem ser usados.

Além disso, ao comparar os valores de  $Syx$  (%) dos modelos analisados (Tabelas 18 e 20), percebe-se que o modelo de Schumacher e Hall reduzido foi mais preciso que o modelo de Spurr reduzido. Esse fato leva a escolha deste modelo para estimar o volume das árvores de *P. oocarpa* nas idades de 5 e 6 anos.

## **5. CONCLUSÕES**

Verificou-se que tanto o modelo de Spurr quanto o modelo de Schumacher e Hall podem ser utilizados nas idades de 5 e 6 anos para as duas espécies avaliadas, com preferência para o modelo de Schumacher e Hall. O teste de identidade de modelos foi importante, pois mostrou que se pode juntar árvores de diferentes idades para as duas espécies em questão em uma equação o que economiza o esforço de utilizar várias equações para diferentes idades.

## 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2011. 145 p ABRAF, Brasília, 2012. Disponível em: < <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12-BR.pdf> >. Acesso em: 05 de maio 2012.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford: Pergamon Press, 506p.1970.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 65, p.162-175, jun. 2004.

BRENA, D.A., BOM, P.B. **Modelos de crescimento e produção florestal**. Curitiba: PR [s.n], 111p. 1991.

CAMOLESI, J. F. **Volumetria e teor de alfa bisabolol para a candeia *Eremanthuserythropappus***. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – Lavras.

CAXUANA. **Localização**. Disponível em: <<http://www.caxuana.com.br/>> Acesso: janeiro de 2012.

CARDOSO, R. M. **Comparação entre o modelo volumétrico de Schumacher & Hall e fatores de forma para estimativa do volume individual de árvores de florestas nativas do estado de Rondônia**. 2008. 28 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008.

CESAR, E. R. G; SHIMIZU J. Y; ROMANELLI, R. **Variação entre procedências e progênies de *Pinus oocarpa* em Angatuba, SP**. 11p. 1988.

COUTO, H. T. Z.; BASTOS, N. L. M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 33-44, dez. 1987.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de produção, Embrapa Florestas. **Cultivos do *Pinus*** (espécies – *Pinus caribaea*). Versão Eletrônica. Colombo, PR, 2005. Disponível em: < [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03\\_3\\_pinus\\_caribaea.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_3_pinus_caribaea.htm) > Acesso em: 15 de abril de 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas de produção, Embrapa Florestas. **Cultivos do *Pinus*** (espécies - *Pinus oocarpa*). Versão Eletrônica. Colombo, PR, 2005. Disponível em: < [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03\\_4\\_pinus\\_oocarpa.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_4_pinus_oocarpa.htm) > Acesso em: 15 de abril de 2012.

FERNANDES, N. P.; JARDINS, F. C. S.; HIGUCHI, N. Tabelas de volume para a floresta de terra firme da estação experimental de Silvicultura Tropical. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 13, p.537-545, 1983.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

GIRARD, E. A. **Volume, biomassa e rendimento de óleos essenciais do craveiro (*Pimenta pseudocaryophyllus*(Gomes) Landrum) em Floresta Ombrófila Mista**. 2005. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704p.

GUIMARÃES, T. Espécie invasora ataca áreas protegidas. Folha de São Paulo, 16 maio 2005, **Folha Ciência**, São Paulo, página A13.

HAAG, P.H. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelinas* no Brasil**. Campinas. São Paulo, Fundação Cargil, 1983. 101p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest Mensuration**. 3. Ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 402 p.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R.; FERREIRA, M.; NICOLIELO, N. Variação genética entre procedências de *Pinus oocarpa* Schiede na região de Agudos – SP. **IPEF**, Piracicaba, n.14, p.77-120, 1977.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.321-328, 2002.

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

MARTINS, E. F. P.; SILVA, J. A. A. da; FERREIRA, R. L. C.; JANKOVSKY, T.; BRITO, C. C. R. de. Curvas de índice de sítio para *Leucaena leucocephala* (LAM.) DE WIT no agreste de Pernambuco. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v. 17, n.4, 2007.

MENDONÇA, A. R. de. **Modelagem não linear do crescimento e da produção de plantações florestais**. 2010. 84f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MUNIZ, M. V. O. **Equação de volume para *Tibouchina granulosa* Cogn. na área de implantação do gasoduto Cabiúnas-Reduc (GASDUC III)**. 2009. 40f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.855-860, 2008.

OLIVEIRA, J.C. **Considerações sobre a determinação e utilização de equações volumétricas**. 2010. 36 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PACHECO, G. R.; **Identidade de modelos linear e não linear para volume de Pinus**. 2010. 34.f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Estadual de Goiás, 2010.

PINHEIRO, G.; GARRIDO, L.; GARRIDO, M. Determinação de equações de volume comercial para cinco espécies de cerrado. **Boletim técnico do Instituto Florestal**, n. 38, p. 1-9, 1985.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Ceres**, Viçosa-MG, v.40, n.228, p.176-195, 1993.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.1, p.1-17, 1996.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. **Ceres**, Viçosa-MG, v.46, n.266, p.383-409, 1999.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Ceres**, Viçosa-MG, v.50, n.287, p.9-26, 2003.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v.22, n.3, p.33-45, 2004.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal**: modelos de regressão linear e não-linear; modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352p.

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

SHIMIZU, J. Y. Cultivo do *Pinus*. **Embrapa Florestas**. Sistemas de Produção. 2005.

SILVA, J. A. A. DA. **Princípios básicos de dendrometria**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, 1978. 191p.

SOUZA, P. F. de. **Terminologia florestal, glossário de termos e expressões florestais**. Guanabara (RJ): Fundação IBGE, 1973. 304p.

SOUZA, A.; JESUS, R. Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da mata atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce, Linhares, ES. **Revista. Árvore**, Viçosa-MG, v.15, n.3, p.257-273, 1991.

SOARES, C. P. B. PAULA NETO, SOUZA F, Agostinho Lopes de. **Dendrometria e inventário florestal**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. v. 1. 276p

TOMÉ, M.; TOMÉ, J.; RIBEIRO, F.; FAIAS, S. Equação de volume total, volume percentual e de perfil do tronco para *Eucalyptus globulus* LABILL. **Silva Lusitana**, Lisboa, v.15, n 1, p. 25 - 39, 2007.

TONINI, H. **Crescimento e produção de clones de *Eucalyptus saligna* Smith na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul**. 2003. 331.f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

THIERSCH, C. R.; SCOLFORO J R S; OLIVEIRA, A D de O. O uso de modelos matemáticos na estimativa da densidade básica da madeira em plantios de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p.264-278, 2006.

VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa. MG, SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

VEIGA, R. A. de A. **O uso de equações de volume em levantamentos florestais**. In: SIMPÓSIO SOBRE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2. Piracicaba. ESALQ/IPEF, 1984. p. 93-102.

ZANCHETTA, D; DINIZ, F. V. Estudo da contaminação biológica por *Pinus* spp. em três diferentes áreas na estação ecológica de Itirapina (SP, Brasil) **Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n 1, p. 1-14, 2006.

ZAKIA, M. J. B.; PAREYN, F.; RIEGELHAUPT, E. **Equações de peso e volume para oito espécies lenhosas nativas do semi-árido**, RN. Circular Técnica PNUD/FAO/BRA/87/007, n.9, p. 1-5, 1990.