

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de
Eucalyptus urophylla X *Eucalyptus grandis*.**

Estudante: Ana Luiza Noce Cerdeira, Matrícula 06/78783

Linha de pesquisa: Inventário Florestal

Orientador: Professor M.Sc. Eder Pereira Miguel

Trabalho apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Brasília-DF, julho de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**Modelos para quantificação do volume de diferentes sortimentos em plantio de
Eucalyptus urophylla X Eucalyptus grandis.**

Estudante: Ana Luiza Noce Cerdeira, Matrícula 06/78783

Menção: _____

Aprovada por

Prof. M.Sc. Eder Pereira Miguel (Orientador)
Departamento de Engenharia Florestal - UnB

Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza (Examinador Interno)
Departamento de Engenharia Florestal - UnB

Prof. M.Sc. Raul Silvestre (Examinador Externo)
Departamento de Engenharia Florestal – UDESC Lages

Brasília-DF, 05 de julho de 2012.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me colocar exatamente onde eu deveria estar nos diversos momentos da minha vida, onde eu pude ter grandes oportunidades e conhecer pessoas maravilhosas.

Agradeço muito ao orientador “maior legal” e amigo Eder Pereira Miguel por todos os ensinamentos, paciência, pelas ajudas em campo, pelas tardes de perturbações na sua sala regadas a boas músicas, barrinhas de cereal e risadas. Foi parte fundamental para a minha formação.

Agradeço a minha família: meu pai Renato, que sempre me apoiou em tudo que quis fazer e sempre esteve ao meu lado nas diversas circunstâncias; minha mãe Ana, por sempre ter feito tudo o que podia e não podia pela felicidade dos filhos, muitas vezes sacrificando suas próprias vontades; meu irmão Vitor, que é meu companheiro e faz os meus dias mais completos; minha vó Dinha, pelo amor e apoio concedidos.

A minha segunda família, pelos conselhos, apoio, bagunças, risadas. Pessoas com quem eu divido minha vida, com quem posso sempre contar: Tia Vânia, Antero, Rebeca, Vó Elza e Yuri.

Ao pessoal do LEP e do CSR, onde pude aprender tanto e coloquei em prática ensinamentos teóricos. Vocês foram mais do que grandes colegas de trabalho, foram amigos.

Ao Pedro Guilherme, à Laíssa e à Milene pela ajuda na coleta dos dados na fazenda.

Ao professor Ildeu Soares Martins, do departamento de Engenharia Florestal da UnB, pela ajuda com as análises estatísticas.

À Giovanna Paiva Aguiar, pela revisão do “abstract”.

À ECOFLOR, pelos mais diversos aprendizados, experiências e principalmente, pelos grandes amigos que me proporcionou.

Às minhas grandes amigas do peito Andrea e Taíta. Vocês são as melhores do mundo, quem me proporcionam os melhores momentos da minha vida. Obrigada pelo apoio nos momentos mais difíceis, pelas risadas nos momentos felizes e pelos ombros nos momentos tristes. Vocês definitivamente fazem a diferença.

Às meninas da faculdade Bárbara, Giovanna, Bruna e Jimena. À Bárbara pela amizade de 6 longos anos, compartilhando cada momento bom e ruim da universidade, por compartilhar as

crises, desesperos, gargalhadas e pelas idas ao pôr-do-sol depois das aulas de Fotointerpretação. À Gi, Bru e Ji, que fizeram minha graduação muito mais feliz e completa: ano passado e os próximos que virão não seriam os mesmos sem vocês por perto.

À galera da faculdade: Milene, Felipe, Leandro, Bruno, Gustavo e Bernardo. Gosto demais de cada um de vocês e obrigada pela amizade que tanto me fez bem nestes anos.

A todos que passaram pela minha vida e contribuíram para a minha formação pessoal e profissional, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Os objetivos gerais deste trabalho foram a obtenção do sortimento; a estimativa do volume de madeira através de dois diferentes métodos: os modelos volumétricos e as funções de afilamento; e a verificação da compatibilidade entre estes. Para tanto, foi realizado um inventário florestal em povoamento de *Eucalyptus urograndis*, localizado na fazenda experimental da Universidade de Brasília, no Distrito Federal. Foram lançadas aleatoriamente nove parcelas de 30m X 20m em área total de 4,06 hectares, na qual foram medidos os CAP's de todos os indivíduos e a altura de 11 árvores de cada parcela. Foram ajustados oito modelos hipsométricos, sendo que o de Curtis obteve melhor análise gráfica dos resíduos, menor erro-padrão da estimativa e maior coeficiente de determinação ajustado. Foi realizada a cubagem rigorosa pelo método destrutivo em três árvores representativas de cada uma das 11 classes diamétricas, totalizando 33 árvores, e o volume de cada árvore foi obtido pelo método de Newton. A partir destes dados, foram ajustados 10 modelos volumétricos e cinco de afilamento. O modelo volumétrico de Takata e o de afilamento de Schöepfer se mostraram superiores com relação aos demais. Foi gerada uma Análise de Variância (ANOVA) para comparar as médias dos dois métodos de cálculo de volume. O F calculado foi igual a 0,1479 e o F crítico igual a 3,9909 e, por isso, a hipótese de que as duas médias são estatisticamente iguais foi aceita. Sequencialmente, obtiveram-se os múltiplos produtos bem como seus respectivos volumes por produto e para o total. Por fim, utilizando o procedimento da amostragem casual simples para um erro admissível de 10% e um α de 0,05 foi determinado o intervalo de confiança para os produtos e seus respectivos volumes e para o volume total por parcela, hectare e população.

Palavras-chave: inventário florestal, modelos volumétricos, função de afilamento, sortimento.

ABSTRACT

The objective of this study was to obtain the assortment; estimate the wood volume through two different methods: the volumetric models and the taper models; and to verify the compatibility between them. To that end, a forest inventory was conducted in the stand of *Eucalyptus urograndis*, located at the experimental farm of the University of Brasilia, in the Brazilian Federal District. Nine plots of 30m X 20m were launched in a total area of 4.06 hectares, which were measured CBH all individuals and height of 11 trees in each plot. Eight hypsometric models were fitted, where Curtis was the one that had the best graphical analysis of waste, the lowest standard error of estimate and the highest adjusted coefficient of determination. The cubage was performed by the destructive method in three representative trees in each one of the 11 diametric classes, total of 33 trees, and the real volume of each tree was obtained by the method of Newton. From these data, 10 volumetric models and five taper models were adjusted. The Takata volumetric model and the Schöepfer taper model were the best in comparison to the others. An Analysis of Variance (ANOVA) was generated to compare the means of two methods to calculate volume. The F calculated was equal to 0,1479 and the F critic was equal to 3,9909 and therefore the hypothesis that the two means are statistically identical has been accepted. Sequentially, the multiple products were obtained as well as their respective volume by product and total. Finally, using the procedure of simple random sampling to a permissible error of 10% and α of 0.05 was determined the confidence interval for the products and their respective volumes and the total volume per plot, hectare and population.

Key-words: Forest inventory, volumetric models, taper functions, assortment.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localização da Fazenda Água Limpa dentro do Distrito Federal. | 21 |
| Figura 2. Localização do talhão de eucalipto dentro da Fazenda Água Limpa – UnB..... | 22 |
| Figura 3. Imagem do plantio e localização ilustrativa das parcelas..... | 23 |
| Figura 4. Distribuição diamétrica das árvores medidas na FAL..... | 36 |
| Figura 5. Gráficos de dispersão de resíduos de cada modelo hipsométrico ajustado. | 38 |
| Figura 6. Gráficos de dispersão dos resíduos com relação ao diâmetro à altura do peito e com relação ao volume estimado por cada modelo. | 44 |
| Figura 7. Gráficos de dispersão dos resíduos dos modelos de afilamento em função do DAP e do diâmetro ao longo do fuste estimado. | 49 |
| Figura 8. Dados dos diâmetros ao longo do fuste reais (em azul) e estimados pelos modelos (em preto). | 50 |
| Figura 9. Perfil do fuste gerado por todos os modelos de..... | 51 |
| Figura 10. Quantificação do volume de madeira e número de toras por sortimento na área total. | 56 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Modelos hipsométricos testados. | 24 |
| Tabela 2. Modelos volumétricos testados no presente trabalho. | 26 |
| Tabela 3. Classificação dos produtos madeireiros. | 33 |
| Tabela 4. Equações hipsométricas ajustadas. | 37 |
| Tabela 5. Equações hipsométricas com seus respectivos erros-padrão e coeficientes de determinação ajustados. | 39 |
| Tabela 6. Modelos volumétricos ajustados. | 40 |
| Tabela 7. Erros-padrão da estimativa e coeficientes de determinação ajustados dos modelos volumétricos testados. | 45 |
| Tabela 8. Modelos de afilamento ajustados. | 47 |
| Tabela 9. Estatísticas de precisão e de ajuste dos modelos de afilamento. | 52 |
| Tabela 10. Comparação de médias e variâncias entre os métodos. | 54 |
| Tabela 11. Resultados da ANOVA. | 54 |
| Tabela 12. Sortimento dos produtos madeireiros de eucalipto híbrido GG100. | 56 |
| Tabela 13. Estatísticas do processamento do inventário e intervalos de confiança com relação ao volume. | 57 |
| Tabela 14. Estatísticas do processamento de inventário e intervalos de confiança com relação ao número de toras. | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| JUSTIFICATIVA | 12 |
| HIPÓTESE..... | 13 |
| OBJETIVO | 13 |
| Objetivo Geral..... | 13 |
| Objetivos Específicos..... | 13 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| <i>Eucalyptus sp.</i> | 14 |
| Melhoramento genético..... | 15 |
| Equações hipsométricas | 16 |
| Modelos volumétricos..... | 17 |
| Modelos de afilamento..... | 17 |
| Modelos de afilamento e volumétricos aplicados a povoamentos florestais de espécies comerciais..... | 19 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 20 |
| Caracterização da área de estudo | 20 |
| Amostragem e Variáveis | 21 |
| Modelos..... | 23 |
| a) Equações Hipsométricas | 23 |
| b) Cubagem Rigorosa | 25 |
| c) Modelos Volumétricos | 26 |
| d) Modelos de afilamento..... | 27 |
| Métodos e seleção de Ajuste..... | 30 |
| Teste estatístico para compatibilidade entre os modelos | 32 |
| Sortimento..... | 32 |
| Processamento do inventário..... | 33 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Distribuição diamétrica | 35 |
| Equações hipsométricas | 36 |
| Modelos Volumétricos | 40 |
| Modelos de Afilamento | 46 |
| Compatibilidade entre métodos de estimativa de volume..... | 54 |
| Sortimento / Processamento do inventário | 55 |
| CONCLUSÕES | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 60 |

INTRODUÇÃO

A pressão socioambiental mundial sobre as madeiras tropicais fazem com que as madeiras de reflorestamento venham ganhando espaço no mercado madeireiro. As madeiras de espécies exóticas de rápido crescimento, principalmente de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. são uma alternativa de fonte de renda para produtores rurais. Além disto, a diversificação de produtos que o lenho pode oferecer possibilita ao produtor obter várias fontes de renda, em vez de depender apenas de um único produto.

A partir da década de 90, as madeiras de reflorestamento começaram a se destacar dentro da indústria de produtos sólidos, geralmente considerados mais nobres (GONÇALEZ et al., 2006). Pelo fato de muitos consumidores terem a ideia de que as madeiras provenientes de reflorestamento não possuem a mesma qualidade que as nativas quando utilizadas na serraria, a aceitação de madeira exótica dentro deste mercado ainda possui grande potencial para crescimento. Para tanto, é necessária a realização de um consistente trabalho na área de marketing com intenção de melhorar a comercialização destas madeiras neste ramo do mercado.

O volume de madeira de um povoamento é uma das variáveis fundamentais no planejamento florestal. Pelo fato de o mercado estar cada vez mais exigente e competitivo, não é mais o suficiente determinar a quantidade de volume de madeira, e sim, determinar a qualificação dos produtos existentes. Para atingir o objetivo, existem técnicas específicas para quantificação e qualificação dos produtos madeireiros. Algumas das técnicas existentes são os modelos de afilamento, que permitem estimar o volume total ou comercial da tora em qualquer diâmetro ou altura especificados (MIGUEL, et al., 2011), possibilitando a classificação do sortimento e os modelos volumétricos, que apenas quantificam o volume total do indivíduo, sem a qualificação.

Para melhor aproveitamento da madeira de um povoamento e conseqüente maximização dos lucros, é importante que se estime com precisão o volume das árvores. Modelos volumétricos são frequentemente utilizados para estimar o volume de uma árvore e tanto estes modelos quanto os de afilamento podem ser gerados a partir de medições das variáveis: diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (Ht).

Após estimar os diâmetros a partir de um modelo de afilamento é possível gerar um gráfico de diâmetro por altura, gerando o perfil do fuste da árvore, que é a representação gráfica do fuste. E pode, ainda, ser comparado com o perfil do fuste dos dados reais, obtidos através da cubagem rigorosa. Integralizando o modelo de afilamento, pode-se calcular o volume de qualquer porção da árvore e, assim, estimar o sortimento. O sortimento é um estudo fundamental para o maior aproveitamento do povoamento florestal e para determinar a qualidade e quantidade da madeira existente (MENDONÇA, 2006), isto é, determinar o volume dos multiprodutos que o povoamento pode fornecer.

Soares et al. (2003) realizou um estudo para avaliar economicamente um povoamento de *Eucalyptus grandis*, considerando duas opções de utilização das toras de madeira: produção para um único uso e produção para multiprodutos. Após o resultado, o estudo concluiu que é mais rentável a produção da madeira para multiprodutos.

O fato de não existirem tabelas de sortimento apropriadas para rápida determinação do estoque da madeira para diferentes tipos de aproveitamento resulta em grande dificuldade para o manejo florestal e para o planejamento e avaliação econômica dos povoamentos florestais. Por esta razão, é importante realizar pesquisas para a classificação do fuste segunda sua qualidade, dimensões e possibilidades de utilização, direcionando cada parte da tora de madeira ao seu mercado específico. Isto permite ao administrador florestal prognosticar, nos diversos horizontes, os sortimentos da madeira em diferentes classes de sítio, além da produção física e sua renda (SCHNEIDER et al, 1996).

JUSTIFICATIVA

Pelo fato de o mercado estar cada vez mais competitivo e exigente, não é mais suficiente calcular somente o volume das árvores de um povoamento. Atualmente, se faz necessário maximizar o lucro do produtor rural, calculando o volume das porções da árvore e classificando-a por multiprodutos. Assim, o produtor já possuirá em mãos as informações prontas para serem vendidas ao mercado comprador, ou seja, saberá os produtos que o seu plantio pode oferecer e o volume que possui de cada produto.

O engenheiro florestal poderá fazer este procedimento a partir das chamadas funções de afileamento. Porém, só será válido utilizar tal procedimento, caso este método de calcular volume seja tão ou mais preciso que o método a partir de modelos volumétricos, que não possibilita tal classificação por multiproduto. Isto é, será válido apenas se os dois métodos forem considerados estatisticamente iguais.

HIPÓTESE

A hipótese do presente trabalho é de que os métodos para obtenção do volume de madeira, ou seja, os modelos volumétricos e as funções de afileamento são compatíveis entre si e não existe diferença significativa no volume calculado pelos dois métodos. Caso a hipótese seja aceita, é então possível, calcular o sortimento do povoamento pelo modelo de afileamento escolhido sem grandes erros de estimativa.

OBJETIVO

Objetivo Geral

Estimar o volume de madeira de um povoamento híbrido clonal de eucalipto através dos modelos volumétricos e de afileamento, verificando a compatibilidade entre os mesmos.

Objetivos Específicos

- Comparar as equações hipsométricas e verificar a melhor para as condições apresentadas neste trabalho;
- Verificar dentre os modelos volumétricos testados qual o que melhor se ajustará para as condições apresentadas;
- Ajustar diferentes modelos de afileamento e definir a função que mais representa os fustes das árvores;
- Calcular o volume de madeira para cada produto do sortimento, extrapolado para o talhão.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Eucalyptus sp.

Segundo Sampaio (1957) *apud* Viana (2004), a introdução da cultura econômica do eucalipto no Brasil ocorreu em 1904, pelo silvicultor brasileiro Edmundo Navarro de Andrade e possuía o objetivo de ser usado como dormentes, postes e lenha pela Companhia Paulista de Estradas de Ferro, na região Sudeste. A partir de então, os projetos de reflorestamento começaram a ser realizados.

Na década de 50, este gênero passou a ser utilizado também para fabricação de celulose e papel (DOSSA, 2003) e a atividade florestal brasileira começou a exigir estudos visando aumentar a produtividade e melhorar a qualidade da matéria-prima.

O reflorestamento em larga escala começou na década de 60, com a sanção da Lei nº 5.106 de 1966, com os incentivos fiscais recolhidos ao Fundo de Investimento Setorial e aplicados mediante a aprovação de projetos apresentados ao então Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF. Isto perdurou até a década de 80, época em que houve o fim dos incentivos fiscais e, portanto, o desestímulo a tal atividade (VIANA, 2004).

O gênero do eucalipto possui espécies de rápido crescimento e, em geral, bem adaptadas às condições edafobioclimáticas brasileiras. (DOSSA, 2003). As árvores deste gênero pertencem à família Myrtaceae e são nativas da Oceania. Possuem mais de 700 espécies, diversas variedades, além de híbridos naturais e artificiais.

Compreendem desde árvores de grande porte, chegando a 100 metros de altura até pequenos arbustos ornamentais. Abrangem cerca de 95% da floresta natural da Austrália e Tasmânia. As espécies *E. saligna*, *E. grandis* e o *Europhylla* são algumas das espécies mais estudadas (BERGER, 2000).

Este gênero é importante, pois pode ser aproveitado como fonte energética, na fabricação de celulose e papel, postes e dormentes, aglomerados, na construção civil, entre outros usos (SCHNEIDER et al., 1996).

As espécies de *Eucalyptus sp.* possuem crescimento muito mais rápido do que as espécies nativas, o que demanda mais água e, por isto, existe o mito de que o eucalipto “seca o solo”.

Entretanto, a eficiência da utilização desta água e a transformação destes nutrientes em biomassa são muito maiores, o que promove o rápido crescimento (ARAUJO, 2010).

E, ainda, segundo Lima (1996) *apud* Araujo (2010), o eucalipto não difere das outras culturas tradicionais, como milho, feijão e cana-de-açúcar quanto ao consumo de água. Quando se calcula o consumo de água relativo do eucalipto, o número de litros utilizado para formação de um quilo de biomassa está entre os menores, o que corrobora a eficiência da utilização da água por este gênero (ARAUJO, 2010).

Melhoramento genético

O eucalipto da linhagem GG 100 é um híbrido entre as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, que foi produzido pela empresa Gerdau. O desenvolvimento de mudas deste híbrido é a partir de clones, por meio da propagação vegetativa e é um híbrido clonal recomendado para fabricação de papel e celulose, chapas de fibras e móveis (WILCKEN et al., 2008).

No final da década de 1960 foi descoberto o grande potencial do híbrido gerado a partir do cruzamento mencionado acima, o chamado *Eucalyptus urograndis*, e atualmente constitui a base da silvicultura clonal brasileira. Este cruzamento associa a resistência ao cancro, doença causada pelo fungo *Cryphonectria cubensis* Burner (Hodges) (CARVALHO, 2006), leve aumento na densidade da madeira e melhorias no rendimento e propriedades físicas da celulose, além de resistência ao déficit hídrico (características provenientes do *E. urophylla*) e o bom e rápido crescimento da árvore (característica do *E. grandis*) (BATISTA, 2010).

Nos anos 60, as plantações de eucalipto produziam cerca de 15 metros cúbicos de madeira por hectare ao ano. Atualmente, as plantações podem chegar a até 75 metros cúbicos, nos ambientes mais favoráveis ao desenvolvimento do plantio. Esta situação foi possível somente graças às seleções intensas de clones melhorados, em programas de melhoramento genético bem estruturados (MORI, 2006).

Os cruzamentos controlados possibilitam explorar melhor os cruzamentos híbridos dentro da espécie e entre espécies e selecionar os melhores clones, propagando-os milhões de vezes

para plantios comerciais. Apresentam, desta forma, excepcionais produtividade e uniformidade, o que os torna internacionalmente competitivos (MORI, 2006).

No começo do plantio em larga escala de eucalipto, as mudas eram produzidas a partir de sementes melhoradas e isto resultava, muitas vezes, em plantios de má qualidade, devido à desuniformidade do material. Com o desenvolvimento da tecnologia com relação a plantios florestais, atualmente, as empresas de reflorestamento utilizam o método de propagação vegetativa. Isto permite melhor qualidade dos plantios, uniformidade do material, melhor adaptação dos clones às condições locais e aumento da produtividade (FREITAS et al., 2006).

Algumas das técnicas mais conhecidas para se clonar plantas são: enxertia, alporquia, mergulhia, cultura de meristemas, entre outras. Estas técnicas, geralmente, utilizam gemas ou brotos que crescem nas axilas das folhas ou nas extremidades dos ramos (SILVA, 1999).

As vantagens de se utilizar a técnica de propagação clonal em plantios comerciais são a uniformidade das árvores; possibilidade de adaptação de clones aos fatores bióticos e abióticos prejudiciais ao plantio; incremento na produção das florestas.

Equações hipsométricas

A determinação da altura das árvores é uma variável de difícil mensuração, sujeita a erros e que onera bastante os inventários florestais. Por isso, o mais comum é medir a altura de algumas árvores na parcela e, a partir de equações hipsométricas, estimar a altura das demais, procedimento que deixa o processo mais prático e econômico.

Após conhecer o diâmetro e a altura de cada árvore dentro da parcela, é possível estimar o volume de cada uma a partir dos modelos volumétricos. As relações hipsométricas, ou seja, as funções relacionando altura total e o DAP são bastante sensíveis à diferença entre sítios (COUTO & BASTOS, 1987).

A altura das árvores é de difícil coleta especialmente em povoamentos altos, como no caso de plantações de *Eucalyptus* sp. O conjunto de dados de alturas das árvores é usado para estabelecer uma relação de regressão da altura sobre o diâmetro e, então, estimar a altura das demais em função dos diâmetros medidos. O uso de modelos hipsométricos torna o inventário

muitas vezes tão preciso quanto se realizasse a medição das alturas de todas as árvores da parcela (MACHADO et al., 1994).

A relação de modelos matemáticos para ajustar a curva de altura em função do diâmetro tem sido acrescida constantemente. Segundo Machado et al., (1994), alguns modelos hipsométricos clássicos podem ser encontrados em publicações como as de Prodan (1965), Curtis (1967), Loetsch, et al. (1973), Cardoso (1989), Arabatzis & Burkhart (1992).

Modelos volumétricos

Equações volumétricas são ferramentas básicas na atividade florestal, uma vez que quantificar o volume de madeira em determinada área é essencial para realizar qualquer procedimento florestal. A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é, inclusive, imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentáveis (LEITE & ANDRADE, 2002).

Na década de 80 era comum realizar o cálculo do volume com casca pela fórmula do volume cilíndrico, corrigido por um fator de forma igual a 0,7 (ROLIM et al., 2006). Entretanto, quando se calcula o volume a partir de modelos volumétricos ajustados para o local da área de estudo, obtém-se melhor precisão.

No estudo de Rolim et al. (2006) realizado na Floresta Nacional Tapirapé-Aquiri, no Pará, foram testados doze modelos volumétricos e o mais adequado foi o de Schumacher & Hall, sendo o de Husch também passível de utilização. Além disso, tal estudo corrobora a necessidade do desenvolvimento de um modelo volumétrico apropriado para cada local de estudo.

Para a região do Distrito Federal, uma pesquisa de Imaña-Encinas et al. (2009), que estimou volume de árvores do bioma Cerrado, apontou o modelo volumétrico de Rezende et al. (2006) como sendo o melhor para a área de estudo. Entretanto, este modelo não será testado neste trabalho por não se tratar de um estudo com árvores do Cerrado.

Modelos de afilamento

As árvores possuem geometria específica, pois em sua base têm aparência de neilóides, em sua porção mediana são parabólicas e no topo assumem formato cônico. Esta variedade de

formatos ao longo do fuste constitui fator negativo para obtenção de um ajuste de modelos que representem bem o perfil de uma árvore (HUSCH, et al., 1982 *apud* SCOLFORO et al., 1998).

O afilamento do fuste das árvores é definido pelo decréscimo natural do diâmetro desde a base da árvore até o topo e possui influência direta no volume de madeira, conhecimento que é fundamental para o inventário florestal e para o sortimento de produtos madeireiros (MIGUEL, 2009).

As funções de afilamento permitem calcular o diâmetro da árvore em dada altura específica e a altura em dado diâmetro. Permitem, ainda, descrever a influência dos fatores biológicos na forma do fuste e o sortimento (KOZAK et al., 1969). Ainda segundo Kozak et al. (1969), no ano de estudo, já não era o suficiente calcular o volume total de um povoamento, necessitando obter o cálculo para o sortimento. A partir das árvores cubadas e das medições do diâmetro e altura ao longo do fuste de uma árvore é possível gerar uma função de afilamento.

As funções de afilamento, também chamadas de funções de forma, ou ainda de funções “taper” descrevem matematicamente o perfil do tronco. A seção transversal em qualquer posição do tronco é considerada circular e o volume entre duas alturas quaisquer é calculado pela integração da expressão da área seccional ao longo do tronco (SILVA et al., 1997). O aproveitamento de uma árvore deve ser feito de forma que retorne o máximo valor investido.

Portanto, é necessário saber qual é o volume de madeira para cada produto específico, pois tal diversificação de produtos gera valor agregado e uma renda extra para o produtor. O conhecimento desta proporcionalidade pode ser denominado sortimento, ou agrupamento, ou cluster, ou classificação. O sortimento, em outras palavras, é o “seccionamento” do fuste pelas dimensões, diâmetros e comprimentos. Quanto maior a seção e as dimensões da árvore, maiores as dimensões das peças resultantes e, assim, maior valor agregado à peça (MACHADO et al., 2004).

De acordo com Prodan (1965) *apud* Queiroz (2006), a primeira tentativa de expressar o afilamento dos fustes matematicamente foi feita por Hojer, em 1903. A partir disto, equações cada vez mais complexas foram desenvolvidas para a obtenção de melhores resultados, principalmente após o início do uso dos computadores na pesquisa florestal.

Após Hojer, outros autores descreveram o perfil do fuste a partir de funções de afilamento e alguns dos principais autores foram: Schöepfer (1966) com o uso do método do

polinômio do quinto grau; Hradetzky (1976) com o polinômio de potência fracionária; Ormerod (1973) com modelos sigmoidais; Max & Burkhart (1976) usando modelos segmentados; Ahrens (1980) com modelos definidos através de análise multivariada; Pellico Netto (1994) com séries relativas contínuas; Clutter (1980) com razões de volumes; Figueiredo-Filho et al. (1996) utilizando função spline cúbica; Samson et al. (1996) com modelagem geométrica, entre tantos outros trabalhos descritos na literatura (SCOLFORO et al., 1998).

Os modelos segmentados foram desenvolvidos como alternativas para modelar o perfil dos fustes e representam cada porção do tronco por uma função polinomial. Já os modelos não-segmentados representam cada porção do tronco por um único modelo (ASSIS et al., 2001). Estes autores compararam os dois tipos de modelos de afilamento e verificou que ambos podem ser usados com segurança para estimar volumes totais e parciais para *Pinus taeda*. Porém, os pesquisadores comentaram que devido à simplicidade de ajuste e de manuseio aliado à acurácia das estimativas dos diâmetros e volumes ao longo do fuste, o modelo não-segmentado de Hradetzky seria a melhor opção dentre os modelos testados, desde que se fizesse o ajuste por classe diamétrica.

Modelos de afilamento e volumétricos aplicados a povoamentos florestais de espécies comerciais

Souza et al. (2008a) testou três modelos de afilamento segmentados para estimar a altura e o volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp. e verificou que o melhor dentre os utilizados foi o modelo de Max e Burkhart. O mesmo autor, em outro estudo, testou seis modelos de afilamento não-segmentados para estimar a altura e o volume comerciais e volumes ao longo do fuste de *Eucalyptus* sp. para obtenção de multiprodutos. Para a estimativa da altura comercial, os melhores modelos foram os de Biging, Schöepfer e Hradetzky. Para a estimativa do volume comercial, o modelo de Biging levou leve vantagem com relação aos outros modelos. E para estimativa dos volumes das toras ao longo do fuste, o modelo de Biging foi o mais estável (SOUZA et al., 2008b).

O estudo com equações matemáticas para estimar o volume de povoamentos florestais ocorre há décadas. E apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam para

todas as espécies e condições. Por isso, é recomendável sempre testar o maior número de modelos e, por meio de estatísticas adequadas, identificar o melhor para cada caso específico (THOMAS et al., 2006).

Thomas et al. (2006) testou nove modelos volumétricos para a estimativa do volume de povoamentos de *Pinus taeda* L. a partir de dados com casca, obtidos pelo método da cubagem rigorosa, e de dados sem casca, obtidos pelo método da análise de tronco. Para as duas situações, o modelo melhor ajustado foi o de Schumacher & Hall.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Água Limpa (FAL), pertencente à Universidade de Brasília, localizada em Brasília, DF, entre as coordenadas 15°56' e 15°59'Sul e 47°55' e 47°58'Oeste, a uma altitude de 1.100 metros. A FAL limita-se ao norte com o Núcleo Rural de Vargem Bonita, o Setor de Mansões Park Way – SMPW e o Catetinho; ao sul com a BR-251; a leste com a Reserva Ecológica do IBGE e com o Jardim Botânico de Brasília; e a oeste com a Estrada de Ferro REFESA. A localização da Fazenda pode ser observada na Figura 1.

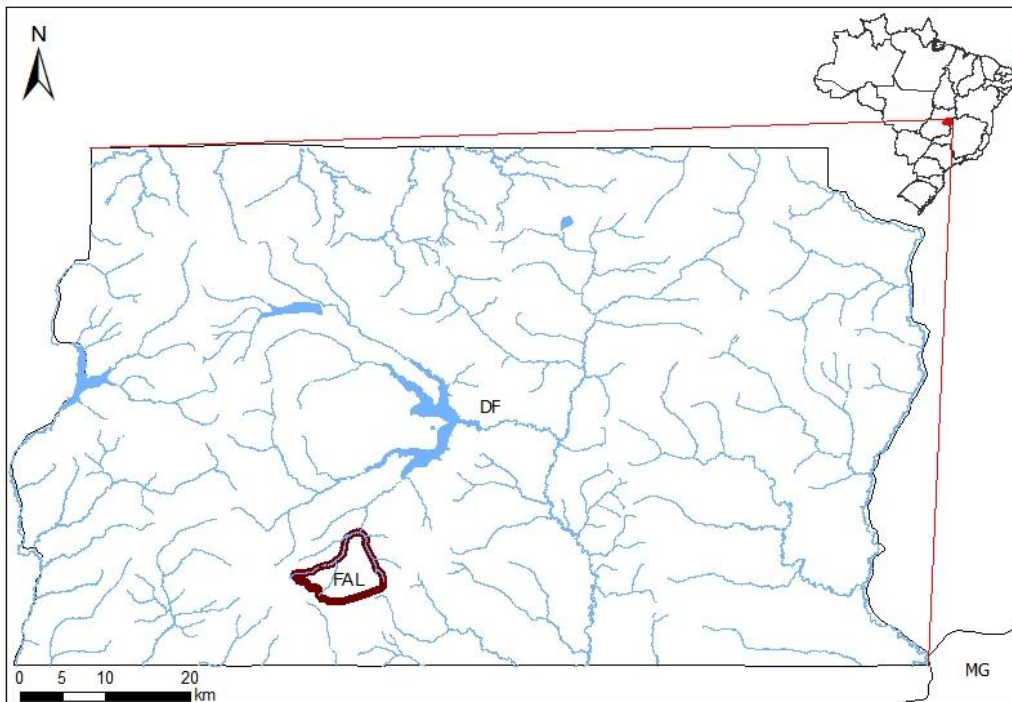


Figura 1. Localização da Fazenda Água Limpa dentro do Distrito Federal.

O solo predominante na FAL é o Latossolo Vermelho-Amarelo, pobre em nutrientes e com alto teor de alumínio (HARIDASAN, 1990). O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como climas úmidos tropicais, com suas estações bem definidas: seca no inverno, iniciando do mês de maio e estendendo-se até o fim de agosto, e úmida no verão, que tem início em outubro indo até o mês de março, com transições nas proximidades dos períodos que estão findando.

Possui temperatura máxima de 28,5°C e mínima de 12°C. A umidade relativa do ar entre os meses de maio a setembro é abaixo de 70% e a umidade mínima ocorre em agosto, com média de 47%, mas podendo atingir 15% (NIMER, 1989) ou até mesmo chegar a 10% em alguns anos. A vegetação predominante é o cerrado *sensu stricto*.

Amostragem e Variáveis

Foi realizado um inventário florestal na área de plantio do povoamento de eucalipto GG 100 com quatro anos e meio de idade (Figura 2). Foram lançadas nove parcelas retangulares de

600 m² cada, isto é, parcelas de 30 metros por 20 metros dentro da área total do talhão, que é de 4,06 hectares (Figura 3).

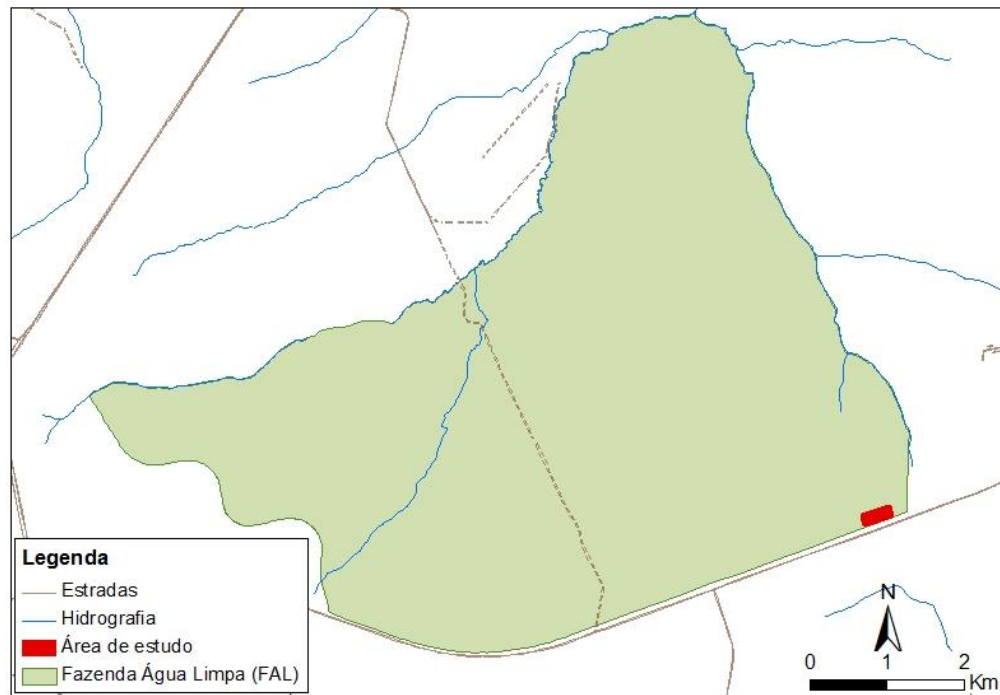


Figura 2. Localização do talhão de eucalipto dentro da Fazenda Água Limpa – UnB.

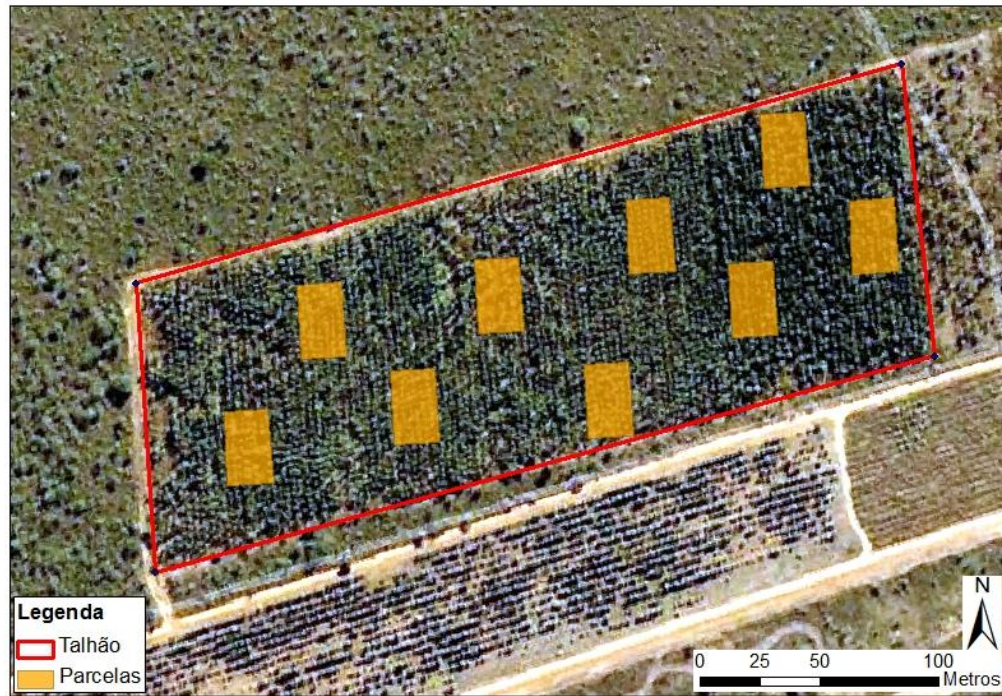


Figura 3. Imagem do plantio e localização ilustrativa das parcelas.

As variáveis coletadas foram: circunferência à altura do peito de todas as árvores que estavam dentro da parcela, ou seja, à altura de 1,30 metros do solo, com uma fita métrica; altura total das 11 primeiras árvores, com um Suunto modelo PM-5 1520, que foi utilizado em escala de 1:20.

O sistema de amostragem foi composto por parcelas temporárias, utilizadas somente para determinação momentânea dos recursos florestais, e por processo aleatório de amostragem, ou seja, as parcelas foram alocadas dentro do talhão de maneira randômica.

Modelos

a) Equações Hipsométricas

No inventário florestal foi medida a circunferência de todas as árvores que estavam dentro da parcela e a altura apenas de algumas árvores, no caso, das onze primeiras árvores. Como se trata de estimativas foi necessário ajustar modelos para saber qual o modelo que melhor

representa os dados para esta situação. Os modelos hipsométricos que serão ajustados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos hipsométricos testados.

| Modelo | Autor | Função |
|--------|------------------|--|
| 1 | Trorey | $H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \varepsilon$ |
| 2 | Stofel | $LnH = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \varepsilon$ |
| 3 | Curtis | $LnH = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \varepsilon$ |
| 4 | Prodan | $H = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2} + \varepsilon$ |
| 5 | Linha Reta | $H = \beta_0 + \beta_1 DAP + \varepsilon$ |
| 6 | Bailey & Clutter | $LnH = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{DAP}\right)^{\beta_2} + \varepsilon$ |
| 7 | Chapman-Richards | $H = \beta_1 (1 - e^{-\beta_2 DAP})^{\beta_3} + \varepsilon$ |
| 8 | Petterson | $H = \frac{1}{\left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{DAP}\right)^{\beta_3}} + \varepsilon$ |

Onde,

H = altura total em metros;

β_i = parâmetros a serem estimados;

DAP= diâmetro à altura do peito em cm;

Ln = logaritmo neperiano;

ε = erro de estimativa.

Os modelos lineares foram ajustados pelo programa Microsoft Office Excel e os modelos não lineares foram ajustados pelo programa Statgraphics.

b) Cubagem Rigorosa

Foi realizada a cubagem rigorosa de 33 árvores do povoamento pelo método destrutivo e o volume real das seções transversais das toras foi calculado de acordo com o método de Newton. Os volumes das árvores cubadas foram utilizados para o ajuste dos modelos volumétricos e dos modelos de afilamento. Segundo Newton, o volume total do fuste de uma árvore pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$\sum (v_i + v_{i+1} + \dots + v_{i+n}) + v_p$$

Onde,

v_i = volume da seção;

v_p = volume da ponta.

Em que,

$$v_i = \left(\frac{g_1 + 4g_{int} + g_{i+1}}{6} \right) * L$$

Onde,

g_1 = área seccional do extremo da seção;

g_{i+1} = área seccional do outro extremo da seção;

g_{int} = área seccional da metade da seção;

L = comprimento da seção.

E em que,

$$v_p = \frac{1}{3} g_{\epsilon} * L_p$$

Onde,

g_6 = área seccional da ponta;

L_p = comprimento da ponta.

c) Modelos Volumétricos

Foram testados 10 modelos volumétricos, um de simples entrada e nove de dupla entrada. O modelo volumétrico que melhor se ajustou aos dados foi utilizado para ser comparado, posteriormente, com o melhor modelo de afilamento ajustado. Os modelos testados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Modelos volumétricos testados no presente trabalho.

| Autor | Tipo | Modelo |
|-------------------------|----------------|--|
| Husch | Simple entrada | $LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \varepsilon$ |
| Meyer | Dupla entrada | $V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2 + \beta_3 DAPH + \beta_4 DAP^2 H + \beta_5 H + \varepsilon$ |
| Spurr | Dupla entrada | $V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$ |
| Schumacher & Hall (Log) | Dupla entrada | $LnV = \beta_0 + \beta_1 LnDAP + \beta_2 LnH + \varepsilon$ |
| Naslund | Dupla entrada | $V = \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 DAPH^2 + \beta_4 H^2 + \varepsilon$ |
| Ogaya | Dupla entrada | $V = DAP^2 * (\beta_0 + \beta_1 H) + \varepsilon$ |
| Stoate | Dupla entrada | $V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 + \beta_2 DAP^2 H + \beta_3 H + \varepsilon$ |
| Schumacher & Hall | Dupla entrada | $V = \beta_0 * DAP^{\beta_1} * H^{\beta_2} + \varepsilon$ |
| Takata | Dupla entrada | $V = \frac{DAP^2 H}{\beta_0 + \beta_1 DAP} + \varepsilon$ |
| Honner | Dupla entrada | $V = \frac{DAP^2}{(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{H})} + \varepsilon$ |

Onde,

V = volume em metros cúbicos;

DAP = diâmetro à altura do peito;

β_i = parâmetros a serem estimados;

Ln = logaritmo neperiano;

H = altura total;

ε = erro de estimativa.

Os modelos lineares e não lineares foram ajustados pelos mesmos programas que as equações hipsométricas.

d) Modelos de afilamento

Os modelos de afilamento não-segmentados testados foram: Ormerod; Schöepfer (ou polinômio do quinto grau); Hradetzky (ou polinômio de potências inteiras ou fracionárias); Kozak et al. (ou polinômio de segundo grau); e Biging e são detalhados a seguir:

Modelo de Ormerod (1973) – Modelo 1

Este modelo é uma função simples de forma de tronco que possui propriedades lógicas na altura do peito e no topo da árvore. Possui apenas um parâmetro, **k**, a ser estimado (McTAGUE, et al., 1989) e a função da forma de tronco está descrita a seguir:

$$di = DAP * \left(\frac{H - hi}{H - 1,3} \right)^k$$

Onde,

di = diâmetro comercial correspondente a qualquer altura especificada (cm);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

H = altura total do fuste (m);

hi = altura comercial especificada (m);

k = parâmetro a ser estimado.

Este modelo se comporta logicamente quando a altura comercial é igual à altura total e, ainda, condiciona o diâmetro superior a ser igual ao DAP quando a altura comercial é igual a 1,3m (McTAGUE et al., 1989). Quando o modelo é invertido, o mesmo fornece a estimativa da altura comercial e pode ser descrito pela fórmula a seguir:

$$hi = H - (H - 1,3)(di/DAP)^{1/k}$$

Modelo de Schöepfer (Polinômio do Quinto Grau – 1966) – Modelo 2

Segundo Miguel et al. (2011), este modelo é um dos mais utilizados no Brasil para estimar o volume por sortimento e é expresso por:

$$\frac{di}{DAP} = \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{H}\right)^5 + \varepsilon \right]$$

Onde,

β_i = parâmetros a serem estimados;

d_i , DAP, h_i , H = especificados anteriormente;

ε = erro de estimativa.

Isolando d_i é possível obter o diâmetro a qualquer altura desejada, desde que se possua o valor de DAP e de H. Assim, encontra-se uma nova expressão:

$$di = DAP * \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{H}\right)^5 \right]$$

Modelo de Hradetzky (Polinômio de Potências Inteiras e Fracionárias – 1976) – Modelo 3

Segundo Ferreira (2004) *apud* Figueiredo (2006), o modelo de Hradetzky diferencia-se do modelo de Schöepfer por apresentar potências fracionárias e inteiras a fim de melhor representar o perfil da árvore. O modelo de Schöepfer não representa tão bem a parte inferior da árvore, por possuir maior tortuosidade nesta porção do fuste.

Assim, Hradetzky propôs um novo modelo gerado pelo método Stepwise, utilizando expoentes que variam de 0,005 a 25. Este método seleciona o conjunto de variáveis independentes que produz a melhor regressão, considerando os valores mais elevados da estatística F.

De acordo com o método Stepwise, um modelo é iniciado considerando apenas o intercepto. Em seguida, as variáveis independentes são inseridas de uma a uma. Mas para que elas sejam incluídas, elas devem possuir boa correlação com a variável dependente (y) e maior significância para o teste F(parcial). Uma variável que já tenha sido inserida no modelo pode ser eliminada caso nos seguintes passos ela se torne insignificante pelo teste estatístico. O número de variáveis retidas no modelo é baseado nos níveis de significância, tanto para inclusão quanto para exclusão (MIGUEL, 2009).

Para execução deste modelo será considerado nível de significância de 5% pelo teste de F, para entrada e saída de variáveis. Os expoentes utilizados no método Stepwise serão: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20 e 25.

O polinômio será ajustado da seguinte forma:

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p_n}$$

Onde,

d_i , DAP, β_i , h_i e H = já definidos anteriormente;

p_i = expoentes variando de 0,005 a 25.

Isolando d_i , obtemos a seguinte função de afilamento:

$$d_i = DAP \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p_1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h}\right)^{p_n} \right]$$

Modelo de Kozak et al. (Polinômio de Segundo Grau) – Modelo 4

Este modelo também é muito utilizado para estimativa do volume de porções do fuste. É considerado por alguns autores como o modelo mais utilizado para tais cálculos (CAMPOS & LEITE, 2006 *apud* MIGUEL, 2009). O modelo de Kozak et al. é facilmente ajustado e possui alta precisão em suas estimativas. Este modelo também é conhecido como a função parabólica de Kozak et al. (1969). É representado por:

$$\left(\frac{d_i}{DAP}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1\left(\frac{h_i}{H}\right) + \beta_2\left(\frac{h_i}{H}\right)^2$$

Onde,

d_i , DAP, β_i , h_i e H= variáveis definidas anteriormente;

Modelo de Biging (1984) – Modelo 5

O modelo de Biging é uma função de afilamento não-segmentada e é considerada por muitos autores, como Souza et al., (2008b), uma função que descreve bem o perfil das árvores. Este modelo para cálculo de volume é expresso por:

$$d_i = DAP\{\beta_1 + \beta_2 \text{Ln}[1 - (h_i/H)^{1/3} * \lambda]\} + \varepsilon$$

Em que $\lambda = 1 - e^{(-\beta_1/\beta_2)}$, e demais variáveis definidas anteriormente.

Métodos e seleção de Ajuste

Todos os modelos ajustados, isto é, as funções de afilamento, as equações hipsométricas e as equações volumétricas, foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários avaliados por meio das seguintes estatísticas de ajuste e de precisão, na seguinte sequência de importância, de acordo com os critérios propostos por Draper & Smith (1966):

- Análise gráfica dos resíduos (%);
- Erro-padrão da estimativa em percentagem ($S_{yx}\%$). Indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados e quanto mais próximo de 0, melhor será o modelo;
- Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}). Indica o quanto as variáveis dependentes são explicadas pelas independentes. Quanto mais próximo de 1, melhor é o modelo;

Para calcular o coeficiente de determinação ajustado foi utilizada a seguinte fórmula:

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\left(\frac{S.Q.res}{S.Q.total} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

Onde,

R^2_{aj} - coeficiente de determinação ajustado;

S.Q.res - soma dos quadrados do resíduo;

S.Q.total - soma dos quadrados total

n - número de observações;

p - número de coeficientes do modelo matemático.

A estatística de precisão erro-padrão da estimativa (S_{yx}) foi obtida a partir de:

$$s_{yx} = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_e)^2}{n-p}} \qquad s_{yx}\% = \frac{s_{yx}}{Y_m} * 100$$

Onde,

S_{yx} = erro padrão da estimativa;

$S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa em porcentage;

Y_i = volume observado;

Y_e = volume estimado;

Y_m = volume médio observado;

n = número de observações;

p = número de coeficientes do modelo matemático

Pelo fato de serem testados modelos volumétricos na escala logarítmica e não-logarítmica foi necessário calcular o ante-logaritmo dos modelos logarítmicos para efeito de comparação entre os modelos. Para corrigir a chamada “discrepância logarítmica”, é necessário utilizar um fator de correção chamado Fator de correção de Meyer (Fm). Sua fórmula é expressa da seguinte maneira:

$$Fm = e^{0,5 \times Q.M.res.}$$

Onde,

e = base do logaritmo neperiano;

Q.M.res. = quadrado médio dos resíduos.

Teste estatístico para compatibilidade entre os modelos

Para verificar a compatibilidade entre o modelo de afilamento e o volumétrico escolhidos de acordo com as estatísticas de precisão, e saber se há diferença significativa entre as médias, foi realizada a Análise de Variância - ANOVA, para, assim, comparar as médias dos dois métodos.

Foi estabelecido um nível de confiança de 95% ou 0,05 e erro admissível de 10%. A análise estatística foi realizada por meio do programa Microsoft Office Excel.

Sortimento

O diâmetro mínimo comercial considerado para este trabalho foi de três centímetros. É importante ressaltar que o diâmetro mínimo comercial é subjetivo para cada trabalho realizado e deve seguir os objetivos a serem alcançados. Os produtos madeireiros disponíveis para comercialização foram determinados de acordo com a classificação exposta na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos produtos madeireiros.

| Diâmetro (cm) | Comprimento (m) | Uso final |
|----------------------|------------------------|------------------|
| Menor que 3 | - | Resíduo |
| Entre 3 e 5,9 | 1 | Lenha |
| Entre 6 e 7,9 | 2,20 | Mourão tipo I |
| Entre 8 e 11,9 | 2,20 | Mourão tipo II |
| Maior que 12 | 2,20 | Mourão tipo III |

Após a função de afilamento ser escolhida, foi possível obter o volume para cada produto existente, integrando a função e, assim, obter o volume total e dos múltiplos produtos de forma individual.

Processamento do inventário

Após a seleção do modelo de afilamento e a verificação de sua compatibilidade com o modelo volumétrico, o inventário foi processado utilizando o princípio da amostragem casual simples (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997).

As principais estimativas dos parâmetros da população que serão calculadas através da amostragem aleatória simples são as seguintes:

Média aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Onde,

n = número de unidades amostrais;

Variância

$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Desvio-Padrão

$$s_x = \sqrt{s_x^2}$$

Coefficiente de Variação

$$CV = \frac{s_x}{\bar{x}} * 100$$

Variância da média

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{s_x^2}{n} (1 - f)$$

Onde,

(1 - f) = fator de correção para população finita.

Desvio-Padrão da Média

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{s_{\bar{x}}^2}$$

Erro de Amostragem Absoluto

$$Ea = \pm t * s_{\bar{x}}$$

Onde,

T = distribuição “t” de Student

Erro de Amostragem Relativo

$$Er = \pm \frac{t * s_{\bar{x}}}{\bar{x}} * 100$$

Intervalo de confiança

$$IC[\bar{x} - ts_{\bar{x}} \leq \bar{X} \leq \bar{x} + ts_{\bar{x}}] = P$$

Após a realização do inventário florestal, foi calculada a intensidade amostral para saber se o número de amostras foi o suficiente através da fórmula para população finita:

$$n = \frac{t^2 CV^2}{E^2 + \frac{t^2 CV^2}{N}}$$

Onde,

N = número total de unidades cabíveis na população;

E = precisão requerida a 10%;

t = valor de t associado a um nível de probabilidade e a n-1 graus de liberdade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição diamétrica

Conhecer a estrutura diamétrica de uma floresta é importante, pois permite obter informações sobre a produção e estoque de madeira, além de tomar decisões sobre a necessidade de reposição florestal (NETTO, 2008). Foi feita a distribuição diamétrica das 898 árvores medidas no campo, pela fórmula de Sturges (Figura 4).

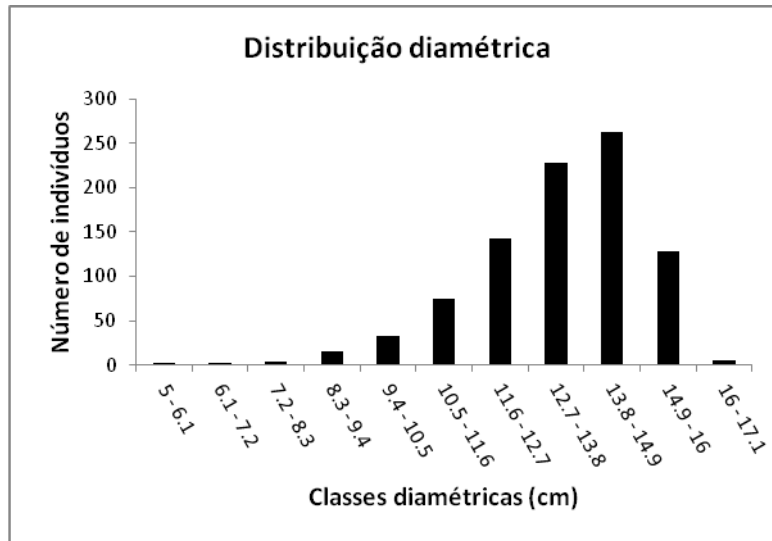


Figura 4. Distribuição diamétrica das árvores medidas na FAL.

Foram obtidas 11 classes de diâmetros e percebe-se que a classe de 13,8 a 14,9 centímetros é a que possui maior número de indivíduos. Analisando o gráfico, também é nítido que o maior percentual de indivíduos está concentrado nas classes de maior diâmetro.

O gráfico de distribuição diamétrica não segue a distribuição normal e a tendência é que as classes menores sumam e que surjam novas classes com maiores diâmetros, uma vez que não há recrutamento. Além disto, a tendência é que, com o tempo, este gráfico assumira o formato mais próximo ao de uma curva normal, característica de povoamentos superestocados, caso não sofra intervenções silviculturais como o desbaste.

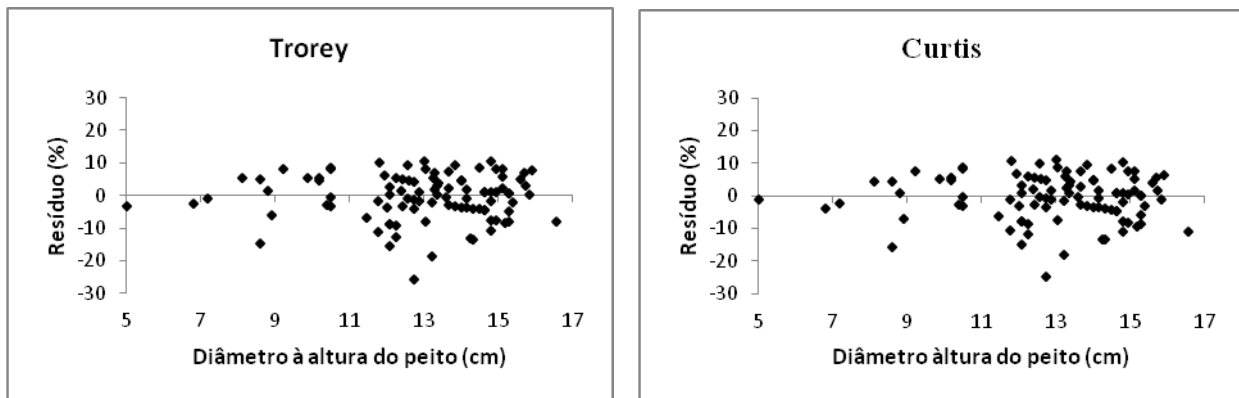
Equações hipsométricas

As equações hipsométricas ajustadas podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4. Equações hipsométricas ajustadas.

| Nome | Modelo ajustado |
|--------------------|---|
| Linha reta | $H = 11,26312 + 0,522146 * DAP$ |
| Bailey & Clutter | $LnH = 48,9451 - 47,0047 * (1/DAP^{0,00799783})$ |
| Stofel | $LnH = 1,949188558 + 0,368657181 * LnDAP$ |
| Trorey | $H = 3,76451 + 1,865131 * DAP - 0,05735 * DAP^2$ |
| Prodan | $H = DAP^2 / (0,89672 + (0,0454591 * DAP) + (0,0459994 * DAP^2))$ |
| Chapman & Richards | $H = 19,9326 * (1 - \exp(-0,216064 * DAP))^{1,40229}$ |
| Petterson | $H = 1 / (0,342888 + (0,484316 / DAP))^3$ |
| Curtis | $LnH = DAP^2 / (bo + 3,191537 * DAP - 3,78987 * DAP^2)$ |

Para escolher a equação que melhor se ajustou às condições apresentadas no trabalho, os gráficos de resíduos foram analisados, juntamente com os erros-padrão de estimativa e com os coeficientes de determinação ajustados. A Figura 5 mostra os gráficos de dispersão dos resíduos.



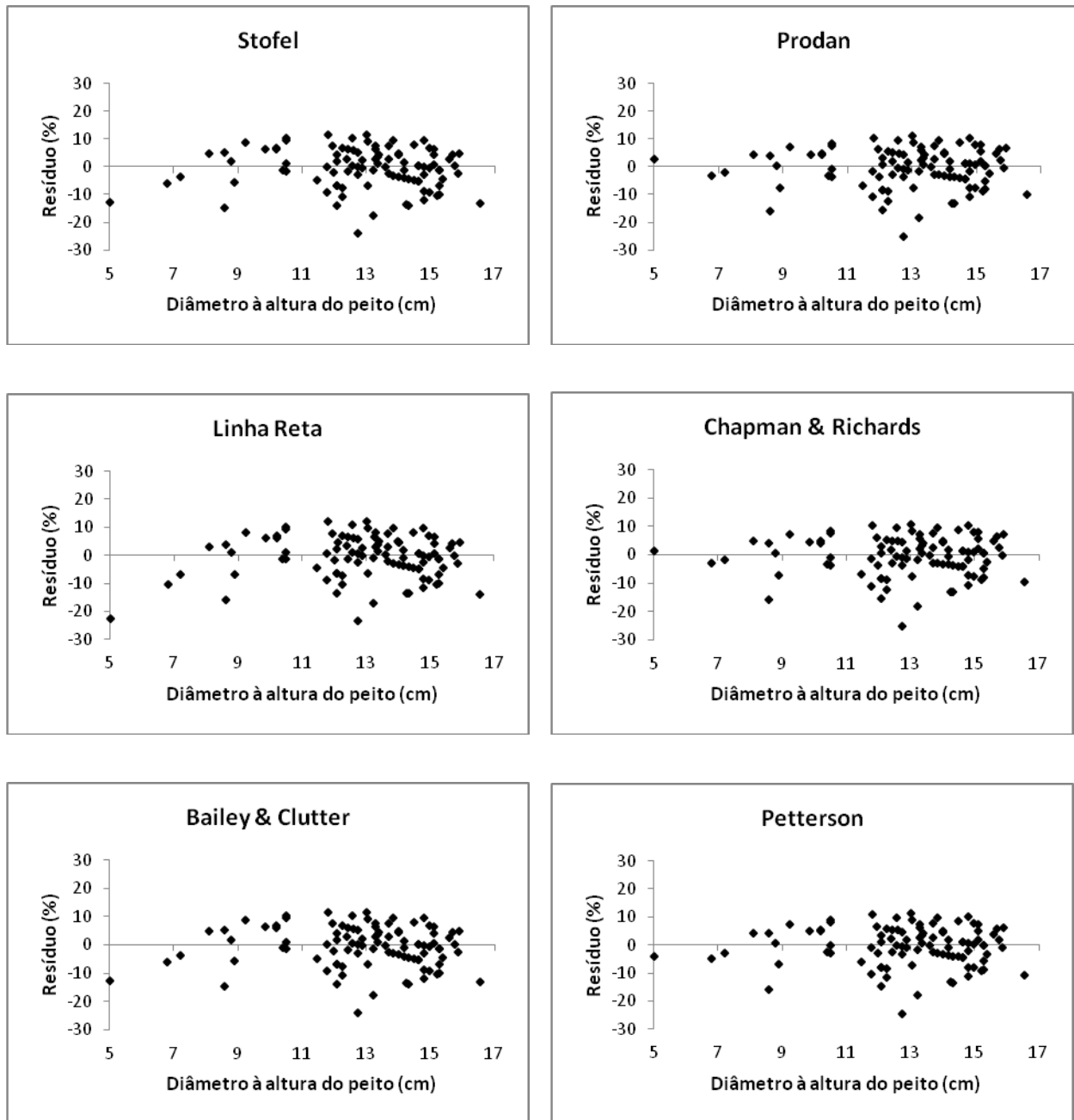


Figura 5. Gráficos de dispersão de resíduos de cada modelo hipsométrico ajustado.

Observando a Figura 5, é possível afirmar que todos os gráficos possuem dispersão de resíduos muito parecidos, sendo que os de Linha Reta, de Bailey & Clutter e de Stofel apresentam ligeira inferioridade, se comparado aos demais. Portanto, não há diferença visual entre os demais modelos e deve-se utilizar as próximas estatísticas de ajuste e precisão como

fatores determinantes para escolha de uma equação, segundo recomendações de Draper & Smith (1966), conforme apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Equações hipsométricas com seus respectivos erros-padrão e coeficientes de determinação ajustados.

| Nome | Modelo | R ² ajustado | S _{yx} absoluto | S _{yx} relative |
|--------------------|---|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Linha reta | $H = b_0 + b_1 * DAP$ | 0,44 | 1,28 | 7,09 |
| Bailey & Clutter | $LnH = b_0 + b_1 * ((1/DAP)^{b_2})$ | 0,51 | 1,25 | 6,96 |
| Stofel | $LnH = b_0 + b_1 * LnDAP$ | 0,52 | 1,25 | 6,93 |
| Trorey | $H = b_0 + b_1 * DAP + b_2 * DAP^2$ | 0,49 | 1,22 | 6,78 |
| Prodan | $H = DAP^2 / (b_0 + b_1 * DAP + b_2 * DAP^2)$ | 0,50 | 1,22 | 6,77 |
| Chapman & Richards | $H = b_1 * (1 - \exp(-b_2 * DAP))^{b_3}$ | 0,50 | 1,22 | 6,76 |
| Petterson | $H = 1 / (b_0 + b_1 / DAP)^3$ | 0,50 | 1,22 | 6,76 |
| Curtis | $LnH = DAP^2 / (b_0 + b_1 * DAP + b_2 * DAP^2)$ | 0,55 | 1,22 | 6,75 |

De acordo com a Tabela 5, o modelo de Curtis é o que possui menor erro-padrão da estimativa e maior coeficiente de determinação ajustado e é considerado neste trabalho o modelo que melhor se ajusta ao povoamento.

Schmidt (1977) chegou à conclusão em seu trabalho que as relações hipsométricas logarítmicas e exponenciais apresentam melhor resultado do que as não-logarítmicas, o que é corroborado neste trabalho. No trabalho de Azevedo et al. (2011), o modelo de Curtis também obteve o melhor resultado para estimar a altura total das espécies arbóreas nativas estudadas e apresentou valor de R² ajustado superior a 0,67 e Syx relativo inferior a 20%.

É possível perceber que no povoamento estudado existe baixa correlação entre o DAP e a altura total, uma vez que o coeficiente de determinação ajustado foi um valor baixo, entre 0,44 e 0,55 para todas as equações. Rufino et al. (2010) também observou baixa correlação entre estas duas variáveis, com R²aj igual a 0,55 para *Eucalyptus urophylla*. Outro estudo com resultado semelhante é o de Machado et al. (2008), que testou 13 modelos hipsométricos e verificou baixa correlação entre as variáveis dependente e independente, com R² corrigido entre 0,1690 e 0,1913 para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze.

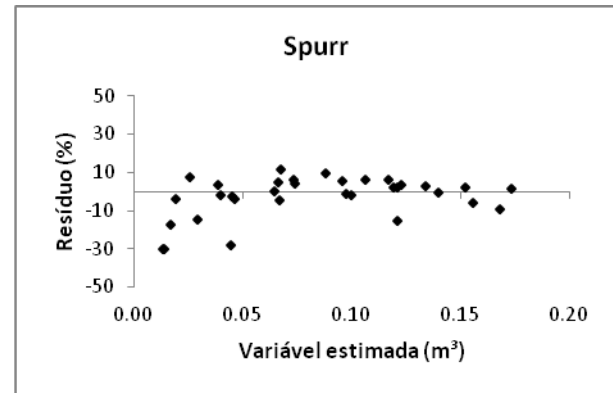
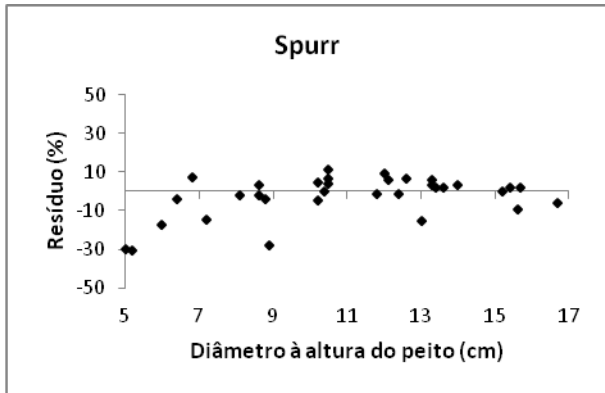
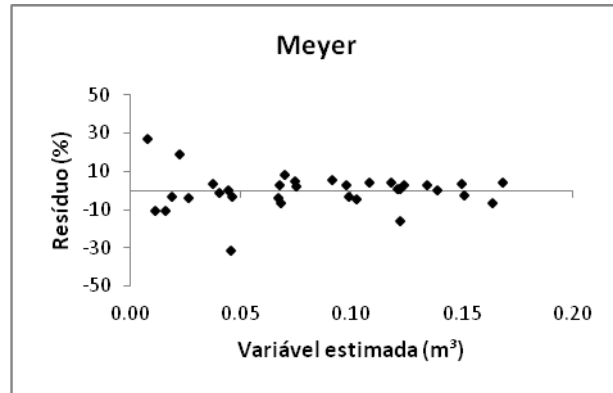
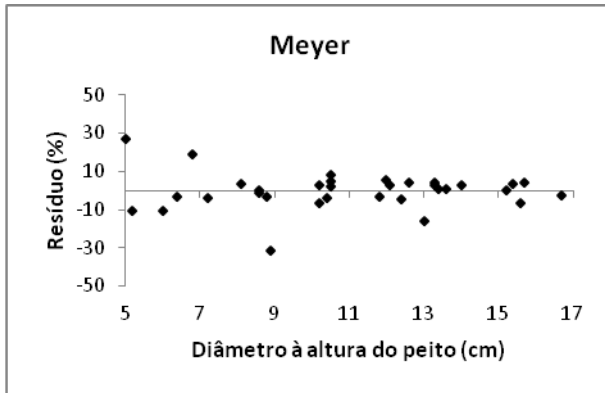
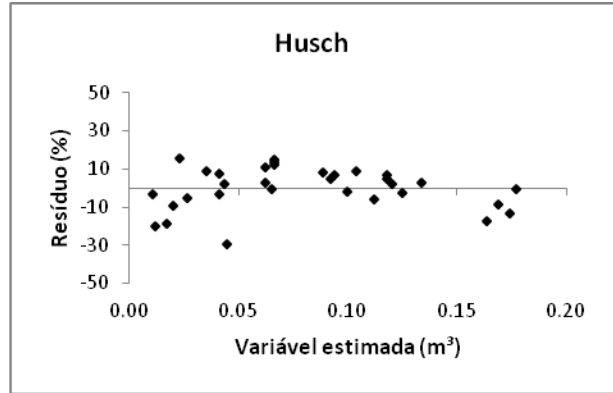
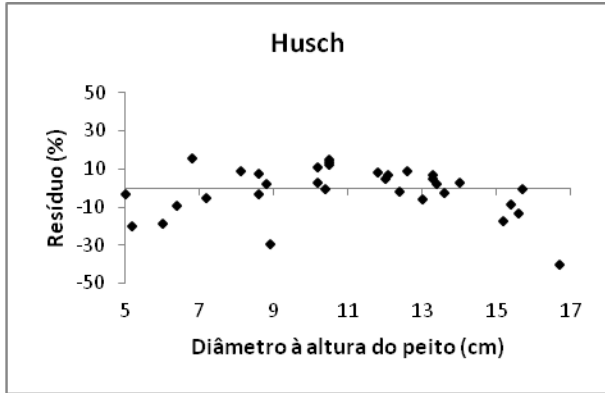
Modelos Volumétricos

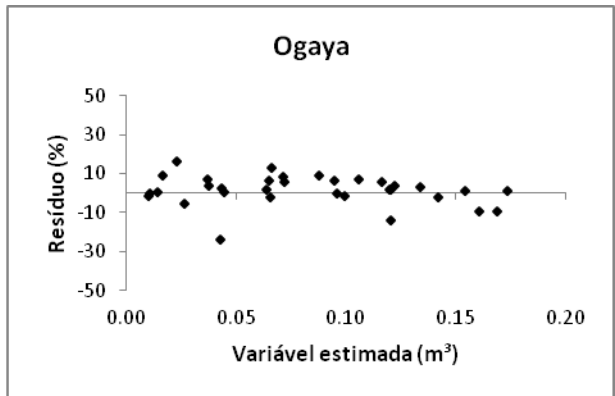
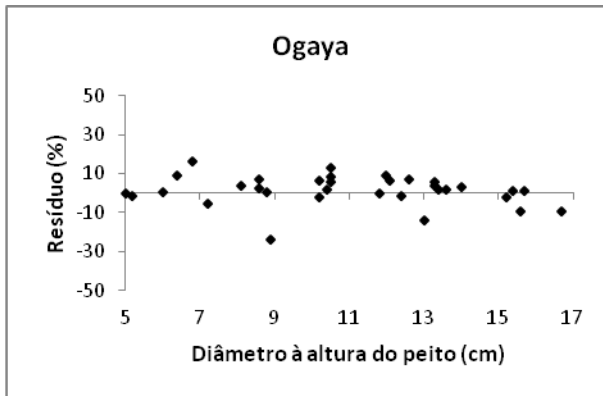
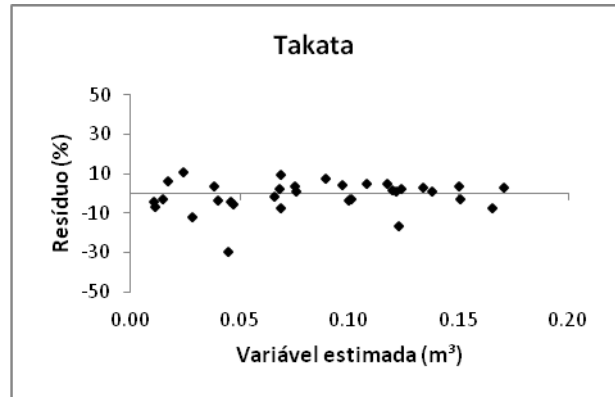
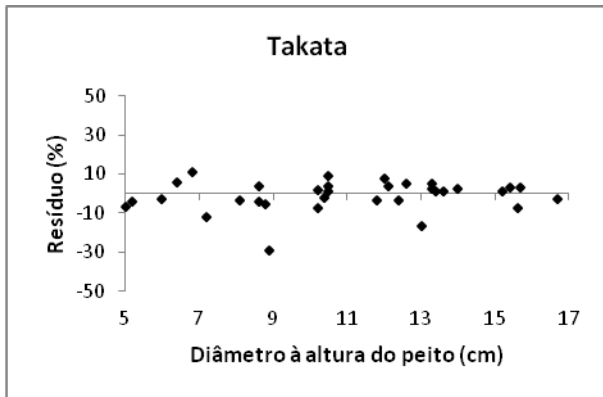
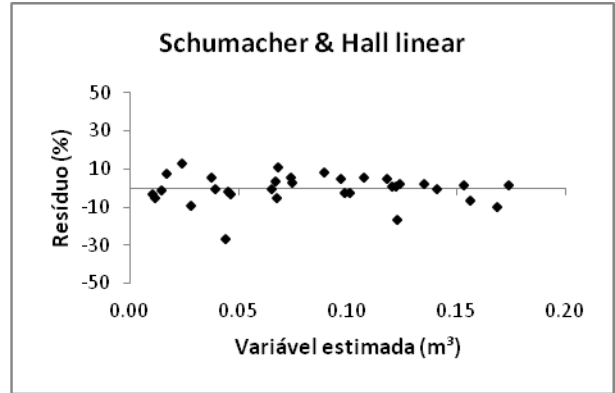
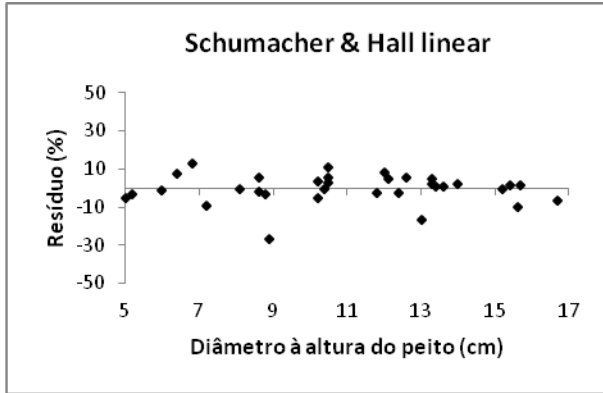
Com base nos dados de volume das 33 árvores que foram cubadas rigorosamente pelo método de Newton, foram ajustados os 10 modelos volumétricos, para escolher o que estima os volumes com melhor precisão e acurácia. Os modelos volumétricos ajustados se encontram na Tabela 6.

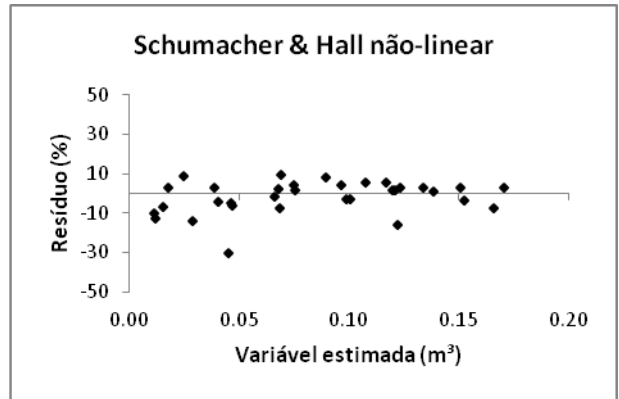
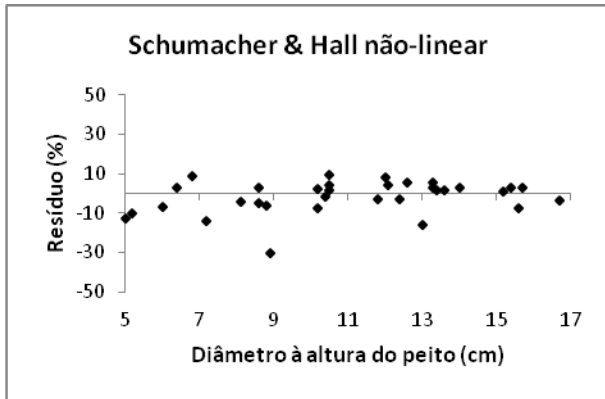
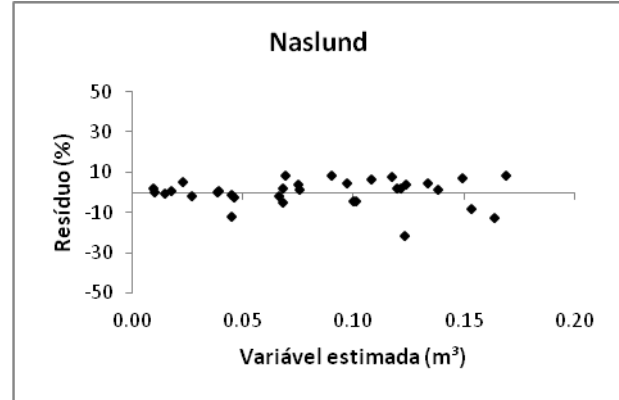
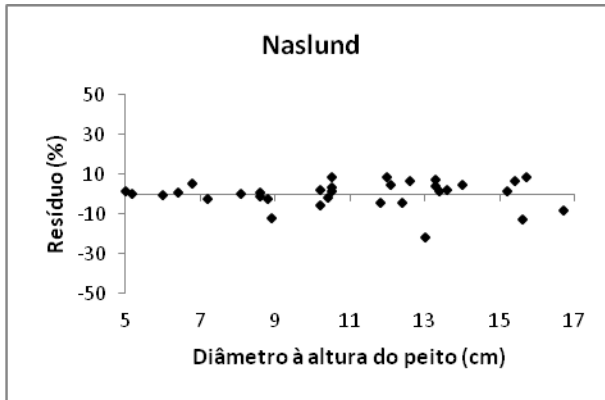
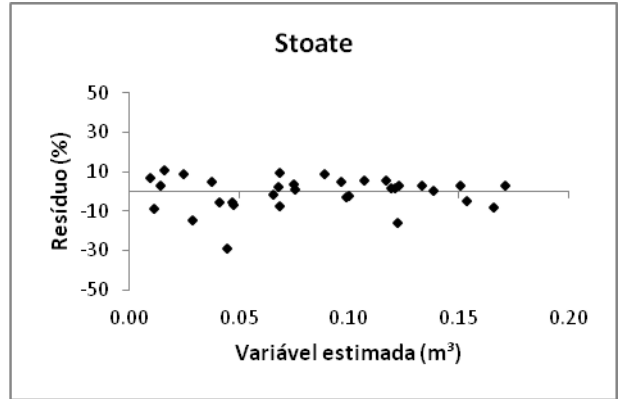
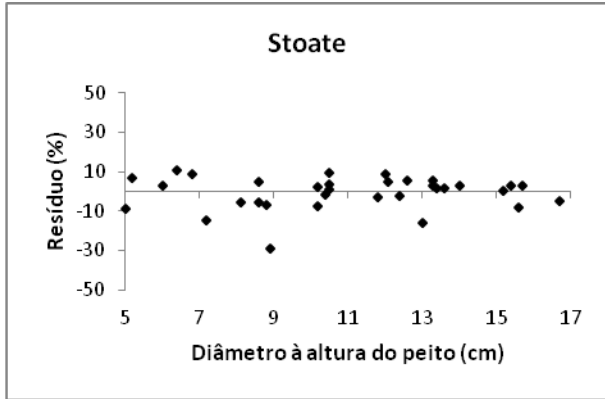
Tabela 6. Modelos volumétricos ajustados.

| Nome | Modelo ajustado |
|-------------------|--|
| Husch | $\text{LnV} = -8,43245 + 2,430446 * \text{LnDAP}$ |
| Naslund | $V = 0,000352 * \text{DAP}^2 - 0,0000101 * \text{DAP}^2 * H + 0,0000192 * \text{DAP} * H^2 - 0,0000906 * H^2$ |
| Ogaya | $V = \text{DAP}^2 * (0,0000786764 + 0,0000308207 * H)$ |
| Honner | $V = \text{DAP}^2 / (230,871 + 24213,6 * H)$ |
| Spurr | $V = 0,004313 + 0,0000337 * \text{DAP}^2 * H$ |
| Stoate | $V = -0,00978 + 0,0000592 * \text{DAP}^2 + 0,000029 * \text{DAP}^2 * H + 0,001032 * H$ |
| Schumacher & Hall | $\text{LnV} = -9,90054 + 1,900733 * \text{LnDAP} + 0,967703 * \text{LnH}$ |
| Meyer | $V = 0,022655 - 0,000094 * \text{DAP} - 0,000026 * \text{DAP}^2 + 0,00061 * \text{DAP} * H + 0,0000102 * \text{DAP}^2 * H - 0,00453 * H$ |
| Schumacher & Hall | $V = 0,0000599458 * (\text{DAP}^{1,82083}) * (H^{0,97645})$ |
| Takata | $V = (\text{DAP}^2 * H) / (22667,6 + 426,264 * \text{DAP})$ |

Para escolher o modelo que melhor se ajustou ao povoamento estudado, foram analisados os gráficos de dispersão de resíduos (Figura 6) e as estatísticas: estimativa do erro-padrão e coeficiente de determinação ajustado (Tabela 7). Na Figura 6 podem ser observados os gráficos de dispersão de resíduos com relação ao diâmetro à altura do peito e com relação à variável estimada, que é o volume estimado pelo modelo.







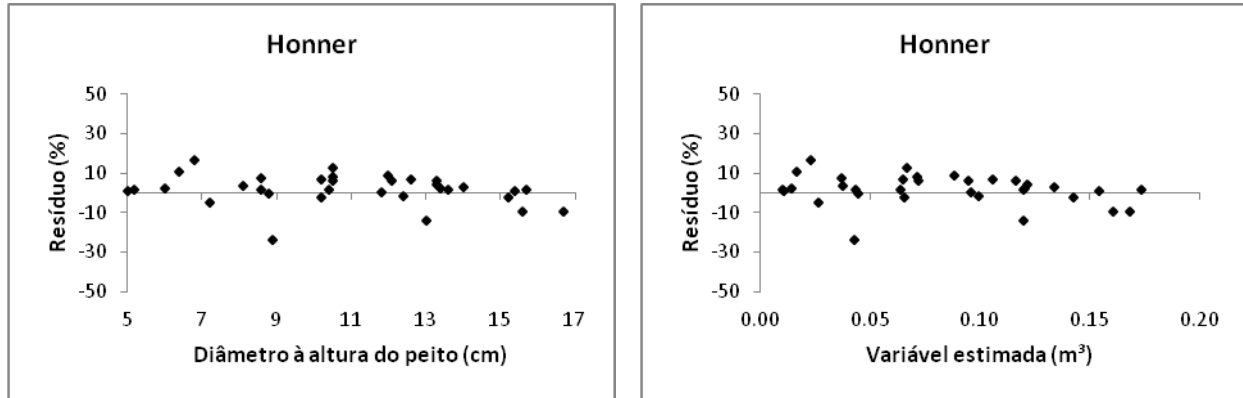


Figura 6. Gráficos de dispersão dos resíduos com relação ao diâmetro à altura do peito e com relação ao volume estimado por cada modelo.

Observando os gráficos de dispersão de resíduos, é possível perceber que todos os modelos são bons, com resíduo máximo de 50%. Porém, os modelos de Spurr, Honner, Meyer, Husch, Stoate e Ogaya são ligeiramente inferiores, sendo que os dois últimos modelos tem em comum a subestimação do volume.

Os modelos de Schumacher & Hall linear, não-linear, Takata e Naslund possuem gráficos de resíduo bons e poderiam ser utilizados. O modelo de Naslund estima melhor as árvores mais finas, com DAP de até 10 centímetros e o de Takata estima melhor as árvores mais grossas, com DAP maior que 10 centímetros. Sendo assim, para determinação do melhor modelo volumétrico, é necessário fazer a comparação entre os erros-padrão de estimativa e os R^2 ajustados de cada modelo (Tabela 7).

Tabela 7. Erros-padrão da estimativa e coeficientes de determinação ajustados dos modelos volumétricos testados.

| Nome | R ² ajustado | S _{yx} absoluto | S _{yx} relativo |
|------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Husch | 0,9773 | 0,01344 | 16,14 |
| Naslund | 0,9852 | 0,00650 | 7,80 |
| Ogaya | 0,9831 | 0,00625 | 7,50 |
| Honner | 0,9833 | 0,00623 | 7,47 |
| Spurr | 0,9849 | 0,00592 | 7,10 |
| Stoate | 0,9850 | 0,00589 | 7,07 |
| Schumacher & Hall linear | 0,9911 | 0,00586 | 7,03 |
| Meyer | 0,9858 | 0,00573 | 6,88 |
| Schumacher & Hall não-linear | 0,9862 | 0,00566 | 6,79 |
| Takata | 0,9869 | 0,00551 | 6,61 |

Observando a Tabela 7, é possível corroborar a afirmação de que todos os modelos volumétricos se ajustaram à base de dados, possuindo R² ajustados maiores que 97% e erros menores que 10%, com exceção do modelo de Husch. Estatísticas semelhantes a estas foram encontradas por Miguel (2009), que ajustou dezesseis modelos volumétricos para *Eucalyptus urophylla* com casca e encontrou Syx% entre 8,72% e 15% e R² ajustado entre 97% e 99,70%.

Outro resultado semelhante pode ser observado no estudo de Thomas et al. (2006), que ajustou nove modelos volumétricos para *Pinus taeda* L. e encontrou R² ajustado variando entre 0,9388 e 0,9929, o que demonstrou alto grau de ajuste da variável dependente pelas variáveis independentes.

O modelo de Husch apresenta o menor valor de R² ajustado e maior valor de Syx. Uma possível explicação para esta diferença, quando comparado às demais, é o fato de este ser o único modelo de simples entrada. Sendo assim, todos os modelos poderiam ser utilizados para este povoamento, com ressalvas feitas ao modelo de Husch.

De todos os modelos ajustados, o modelo de Schumacher & Hall (log) apresenta o maior valor de R² ajustado, porém o erro-padrão da estimativa possui prioridade no ajuste e seleção de modelos, estatística esta que é superior no modelo de Takata.

Além do menor $Syx\%$, o modelo de Takata possui um alto coeficiente de determinação, bem como uma distribuição residual homogênea ao longo da linha de regressão, conforme verificado na Figura 6. Sendo assim, este modelo se mostrou ligeiramente superior aos demais, tornando-se o mais adequado para estimativa da variável volume total em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, em Brasília.

Resultados semelhantes a este foram encontrados por Miguel (2009), em que o modelo de Takata mostrou-se superior a todos os outros nove modelos de dupla entrada ajustados, para estimar o volume total e comercial de *Eucalyptus urophylla*, na região norte do Estado de Goiás.

Outro estudo que obteve o mesmo resultado foi o de Miguel (2010b), em que o modelo de Takata também obteve a melhor dispersão de resíduos e as melhores estatísticas de precisão e ajuste para *Eucalyptus grandis*, no município de Rio Verde, no sudoeste de Goiás.

Embora Loetsch et al. (1973) já comentasse da superioridade dos modelos de Schumacher & Hall (log), Spurr e Takata quando ajustados para obtenção do volume em áreas florestais, este último vem sendo ajustado de forma discreta. Uma possível explicação pode ser o fato de ser um modelo não-linear e não passível de linearização, o que implica em uma maior dificuldade de ajuste.

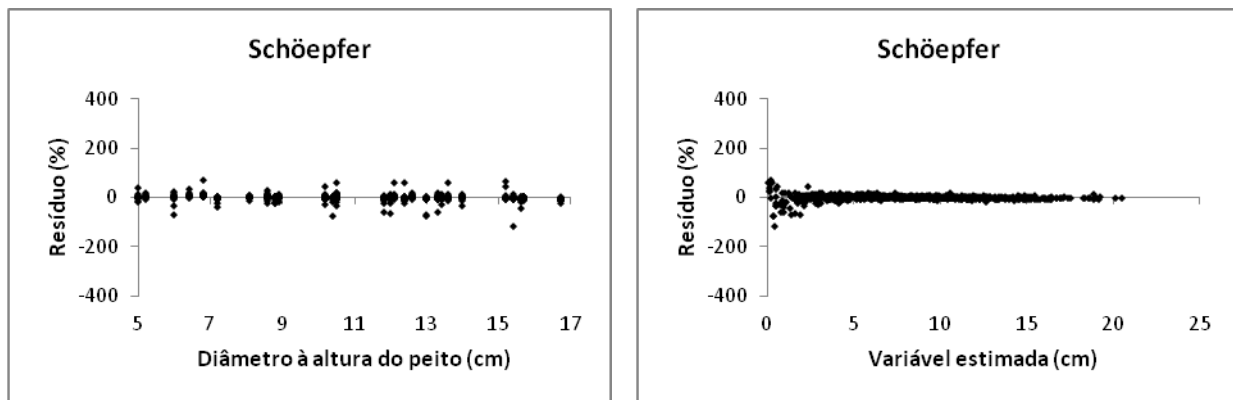
Modelos de Afilamento

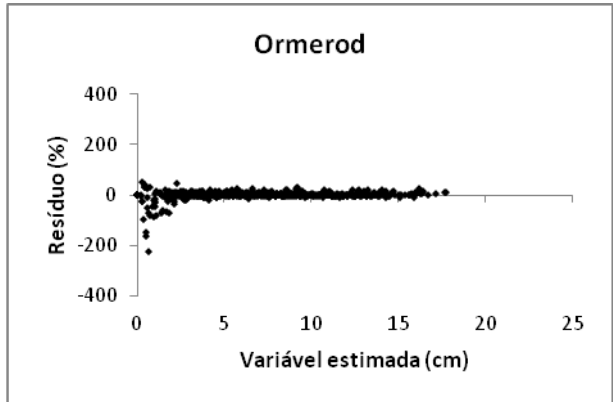
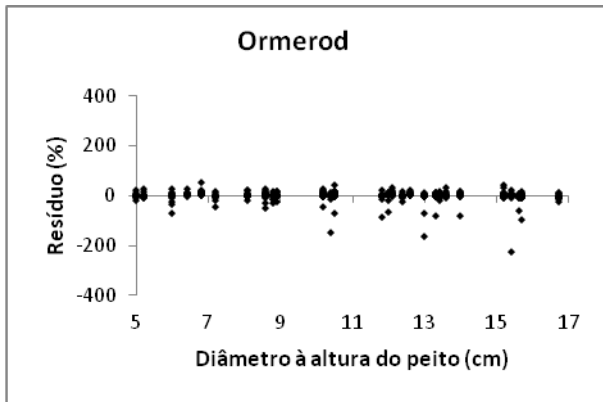
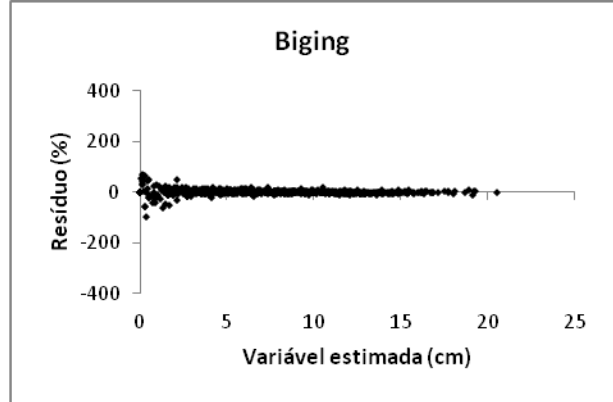
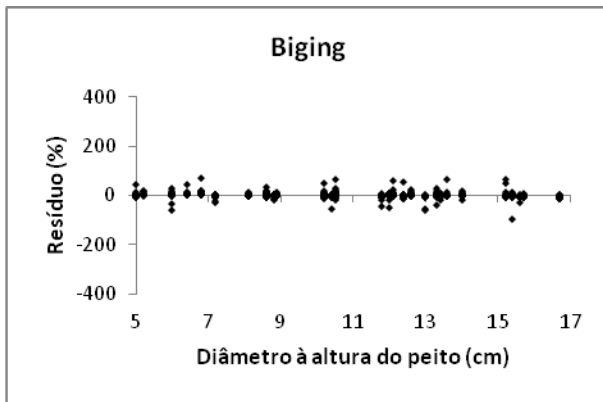
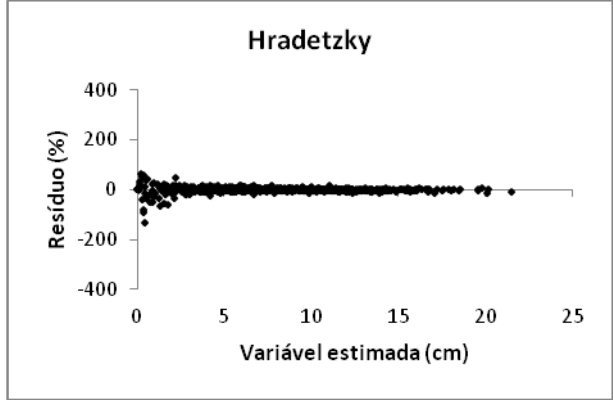
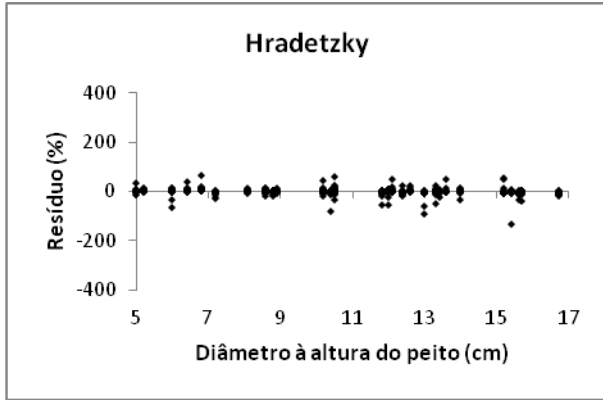
Foram testados cinco modelos de afilamento, com a finalidade de descrever o perfil do fuste, e estimar diâmetros a qualquer altura e altura a quaisquer diâmetros, podendo, assim, determinar os possíveis sortimentos de cada árvore em função de suas dimensões pré-estabelecidas. Os modelos foram ajustados a partir das 33 árvores cubadas pelo método de Newton. A Tabela 8 mostra os modelos ajustados.

Tabela 8. Modelos de afilamento ajustados.

| Nome | Modelo ajustado |
|-----------|---|
| Ormerod | $di = DAP * \left(\frac{H - hi}{H - 1,3} \right)^{0,701544}$ |
| Schöpfer | $\frac{di}{DAP} = \left[1,22706 - 3,67381 \left(\frac{hi}{H} \right) + 15,02606 \left(\frac{hi}{H} \right)^2 - 33,2864 \left(\frac{hi}{H} \right)^3 + 33,05868 \left(\frac{hi}{H} \right)^4 - 12,3533 \left(\frac{hi}{H} \right)^5 + \varepsilon \right]$ |
| Hradetzky | $\frac{di}{DAP} = 1,28656 + 3,45661 \left(\frac{hi}{H} \right)^4 - 1,90051 \left(\frac{hi}{H} \right)^5 - 0,245792 \left(\frac{hi}{H} \right)^{0,7} - 2,17718 \left(\frac{hi}{H} \right)^2 - 0,792824 \left(\frac{hi}{H} \right)^{0,1} + 0,378729 \left(\frac{hi}{H} \right)^{0,000}$ |
| Biging | $di = DAP \{ 1,22796 + 0,412224 \ln [1 - (hi/H)^{1/3} * (1 - e^{(-1,22796/0,412224)})] \} + \varepsilon$ |
| Kozak | $\left(\frac{di}{DAP} \right)^2 = 1,339913 - 2,48298 \left(\frac{hi}{H} \right) + 1,180612 \left(\frac{hi}{H} \right)^2$ |

Para a escolha do melhor modelo de afilamento, foram analisados, primeiramente, os gráficos de resíduos, observados na Figura 7.





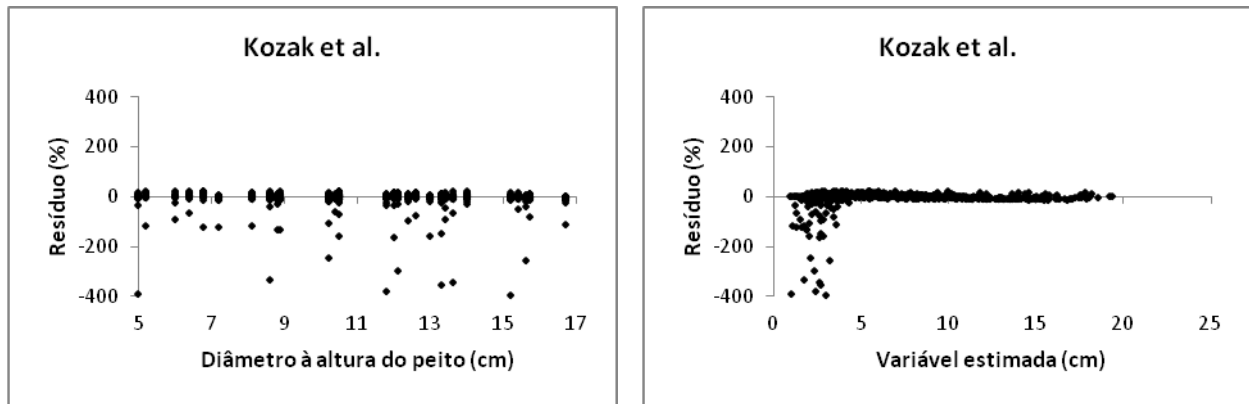
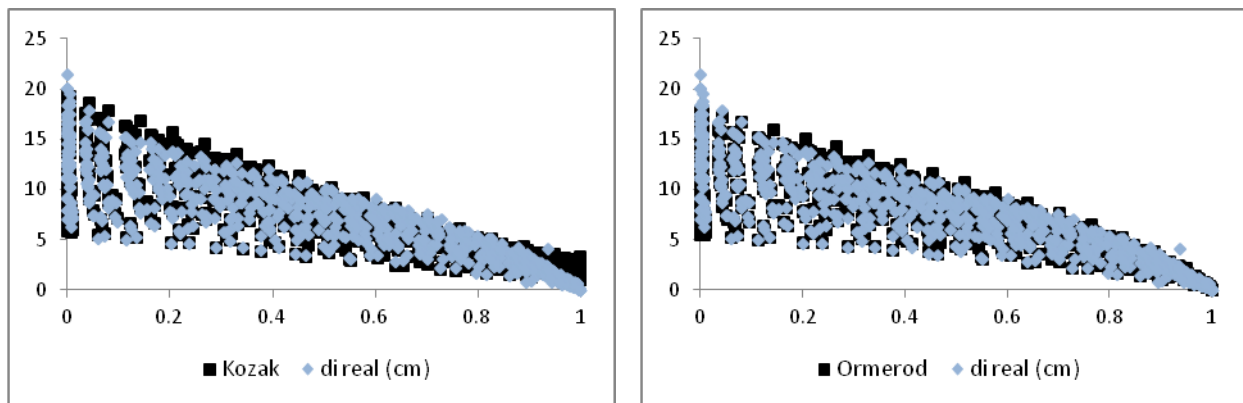


Figura 7. Gráficos de dispersão dos resíduos dos modelos de afilamento em função do DAP e do diâmetro ao longo do fuste estimado.

Observando os gráficos de resíduo, é possível perceber que o modelo de Kozak et al. é o que pior se ajusta à população estudada, superestimando grande parte dos valores de diâmetros no ápice do indivíduo. Esta mesma característica também é vista no modelo de Ormerod, porém de forma mais branda.

Visando uma maior elucidação do ajuste dos modelos, bem como o comportamento de cada um para descrever o perfil das árvores ao longo do fuste, observam-se na Figura 8 os valores dos diâmetros reais contrastados com os valores estimados a diferentes alturas das árvores.



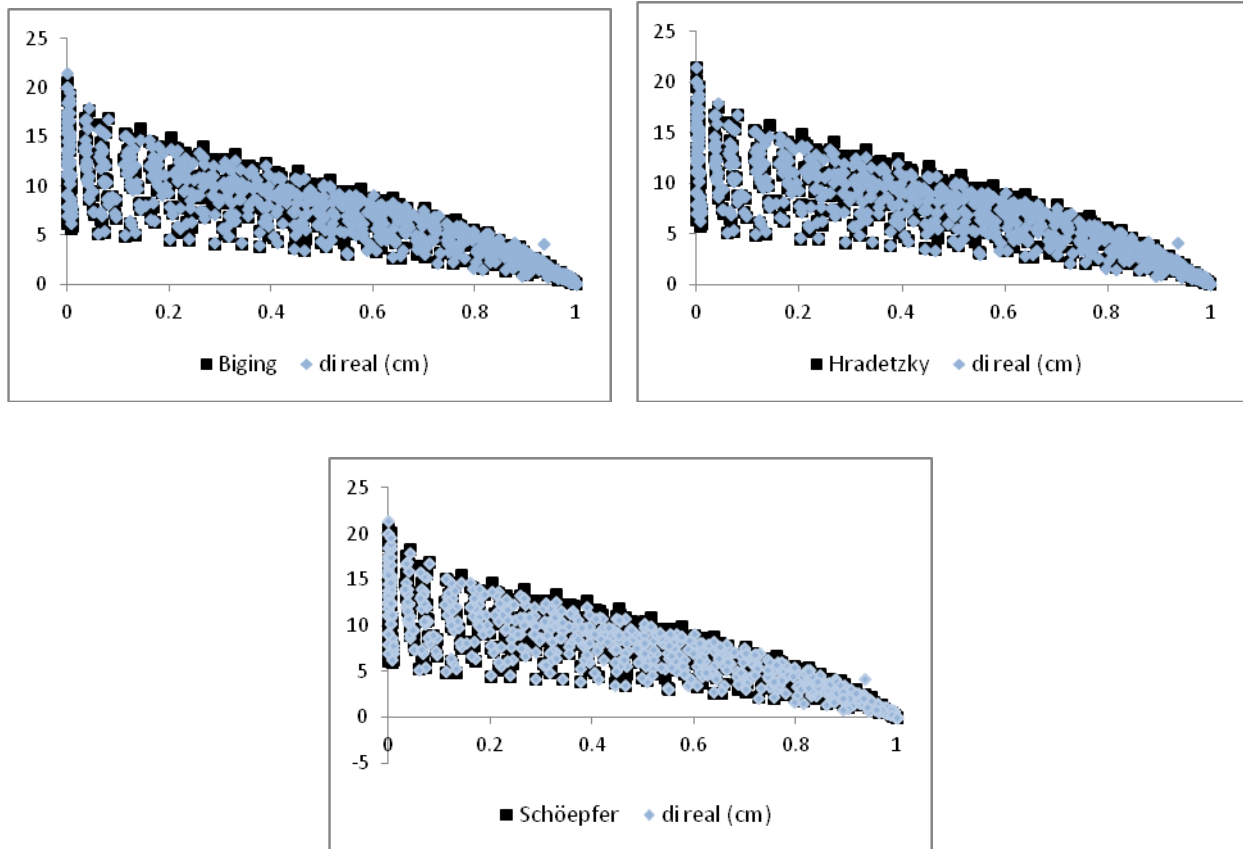


Figura 8. Dados dos diâmetros ao longo do fuste reais (em azul) e estimados pelos modelos (em preto).

Ao analisar os dados reais de diâmetros contrastados com os valores estimados ao longo do fuste, é perceptível a inferioridade do modelo de Kozak et al. perante aos outros, tanto para estimativa da base quanto do ápice do fuste. Os demais modelos apresentam características semelhantes, com uma ligeira inferioridade no modelo de Ormerod. A Figura 8 vem a corroborar com as demais estatísticas apresentadas anteriormente, nas quais tanto o modelo de Kozak et al. quanto o de Ormerod se mostraram inferiores.

Por fim, na Figura 9, explicitou-se o comportamento de cada modelo em descrever o perfil do fuste da árvore de diâmetro médio do povoamento, contrastando-os com seus valores reais.

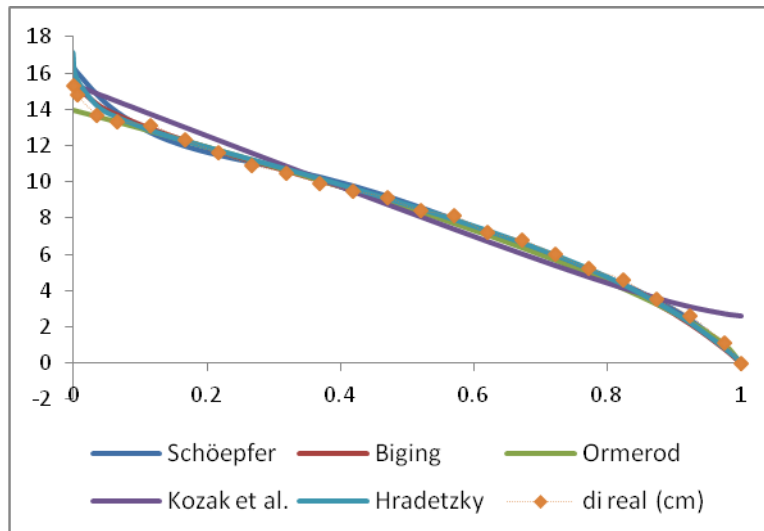


Figura 9. Perfil do fuste gerado por todos os modelos de afilamentos e dos di's reais da árvore média.

De acordo com a Figura 9, fica nítida a inferioridade dos modelos de Kozak et al. e de Ormerod para descrever o perfil do fuste. É perceptível, ainda, a semelhança nos modelos de Schöpfer, Hradetzky e Biging ao modelar o perfil do fuste, quando comparados com os valores reais de diferentes diâmetros ao longo do fuste.

Os modelos de Schöpfer, Hradetzky e Biging não podem ser distinguidos visualmente. Também é perceptível que os mesmos apresentam melhores distribuições residuais ao longo da linha de regressão, conforme apresentado na Figura 7, bem como uma superioridade para estimar o diâmetro e descrever o perfil ao longo do fuste da árvore (Figura 8 e Figura 9).

Deste modo, seguindo os critérios de ajuste e seleção de modelos, os valores de coeficiente de determinação ajustado e o erro-padrão da estimativa absoluto e relativo devem ser analisados. Estes valores estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Estatísticas de precisão e de ajuste dos modelos de afilamento.

| Nome | R ² ajustado | Syx absoluto | Syx relativo |
|--------------|-------------------------|--------------|--------------|
| Kozak et al. | 0,9258 | 0,8816 | 11,7572 |
| Ormerod | 0,9735 | 0,7254 | 9,8028 |
| Biging | 0,9907 | 0,4290 | 5,7982 |
| Hradetzky | 0,9868 | 0,4280 | 5,7841 |
| Schöpfer | 0,9835 | 0,4762 | 4,1948 |

Conforme o observado na análise gráfica dos resíduos e nas descrições dos perfis dos fustes, o modelo de Kozak et al. é o que pior se ajustou à população de GG100, seguido do modelo de Ormerod, com os Syx relativos mais altos. O modelo que possui o erro-padrão da estimativa relativo menor e que, por isto, foi escolhido como o melhor modelo de afilamento é o polinômio do 5º grau, ou modelo de Schöpfer. Entretanto, os modelos de Hradetzky e Biging também poderiam ser utilizados, pois se ajustaram ao povoamento.

Resultados semelhantes a este foram encontrados por Souza et al. (2008c), que verificou que o modelo de Schöpfer para *Pinus taeda* L. localizados em Santa Catarina descreveu o perfil dos fustes sem tendências e com resíduos de pequena variação. Já Mendonça et al. (2007), observou que este mesmo modelo foi o mais estável para estimativa da altura comercial no diâmetro de sete centímetros para *Eucalyptus* sp.

Outros estudos como de Miguel (2011), verificou que o modelo do polinômio do 5º grau foi o que melhor estimou o volume total com e sem casca para *E. urophylla*, em Goiás. O mesmo modelo de afilamento foi recomendado para estimativa uniforme do diâmetro ao longo do fuste associada à alta acuracidade por Scolforo (1998). E, por último, no estudo de Yoshitani Junior (2012) com *Pinus taeda*, o modelo de Schöpfer obteve resultados satisfatórios para estimativa tanto de volume quanto de diâmetro ao longo do fuste, por ser um modelo que descreve bem as extremidades superior e inferior do fuste.

Com relação ao modelo de Kozak et al., outros autores também encontraram resultados similares ao do presente trabalho, como Queiroz (2006), que observou tendenciosidade ao longo do fuste com subestimativas e superestimativas em todas as classes de diâmetro com este modelo. Miguel (2011), em estudo com *E. urophylla* também encontrou o pior ajuste para o

modelo em questão. E Yoshitani Junior (2012) recomendou o não uso do modelo de Kozak et al. para estimativa do diâmetro ao longo do fuste de *Pinus taeda*, uma vez que este modelo apresentou o menor R² ajustado e o maior Syx%.

Queiroz (2006) observou, ainda, que o modelo de potências fracionárias – de Hradetzky - foi a mais acurada na estimativa de diâmetros e volumes para seu estudo com bracatinga: *Mimosa scabrella* Bentham, o que ratifica a possibilidade de utilização deste modelo para este estudo, apesar de tal modelo não ter sido o escolhido no presente trabalho.

Analogamente, Souza et al. (2008b) observou que o modelo de Biging apresentou maior estabilidade na estimativa dos volumes ao longo do fuste, o que também corrobora a possibilidade da utilização deste modelo no presente estudo, apesar de não ter sido o escolhido de acordo com os critérios estatísticos.

Para obtenção do volume (V) segundo Schöepfer, a função da área seccional foi integralizada, entre o limite superior (h1) e o inferior (h2) que se deseja conhecer:

$$V = K \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 \delta h$$

$$V = K \text{ DAP}^2 \int_{h_1}^{h_2} (c_0 + c_1 h_1^{p_1} + c_2 h_2^{p_2} + \dots + c_n h_n^{p_n})^2 \delta h$$

Onde,

$$K = \pi/40000;$$

d_i = diâmetro correspondente a qualquer altura h_i ao longo do fuste;

p_i = expoentes variando de um a cinco;

Sendo que β₀ foi substituído por c₀; β₁/H por c₁; β₂/H² por c₂;...; β₅/H⁵ por c₅.

Após integrar, a expressão que propicia obter os sortimentos e volumes comerciais correspondentes a qualquer porção da árvore e/ou o volume total é a seguinte:

$$\begin{aligned}
V = K * DAP^2 * & \left[c_0^2 h_i + c_0 c_1 h_i^2 + \left(\frac{2}{3} c_0 c_2 + \frac{1}{3} c_1^2 \right) h_i^3 + \left(\frac{1}{2} c_0 c_3 + \frac{1}{2} c_1 c_2 \right) h_i^4 + \right. \\
& + \left(\frac{2}{5} c_0 c_4 + \frac{2}{5} c_1 c_3 + \frac{1}{5} c_2^2 \right) h_i^5 + \left(\frac{1}{3} c_0 c_5 + \frac{1}{3} c_1 c_4 + \frac{1}{3} c_2 c_3 \right) h_i^6 + \\
& + \left(\frac{2}{7} c_1 c_5 + \frac{2}{7} c_2 c_4 + \frac{1}{7} c_3^2 \right) h_i^7 + \left(\frac{1}{4} c_2 c_5 + \frac{1}{4} c_3 c_4 \right) h_i^8 + \\
& \left. + \left(\frac{2}{9} c_3 c_5 + \frac{1}{9} c_4^2 \right) h_i^9 + \frac{1}{5} c_4 c_5 h_i^{10} + \frac{1}{11} c_5^2 h_i^{11} \right] h_1
\end{aligned}$$

Compatibilidade entre métodos de estimativa de volume

Para saber se os diferentes métodos de calcular a volumetria do povoamento de eucalipto são compatíveis entre si, foi realizada a Análise de Variância, para comparação das médias. Os resultados encontrados podem ser observados nas Tabelas 10 e 11 a seguir:

Tabela 10. Comparação de médias e variâncias entre os métodos.

| Métodos | Repetições | Soma | Média | Variância |
|-----------|------------|-------|---------|-----------|
| Takata | 33 | 2,753 | 0,08341 | 0,0022695 |
| Schöepfer | 33 | 2,911 | 0,08820 | 0,0028489 |

Tabela 11. Resultados da ANOVA.

| Fontes de Variação | Soma dos Quadrados | Grau de Liberdade | Quadrado Médio | F | Valor-p | F crit |
|--------------------|--------------------|-------------------|----------------|--------|---------|--------|
| Método | 0,000379 | 1 | 0,000379 | 0,1479 | 0,7018 | 3,9909 |
| Resíduo | 0,163788 | 64 | 0,002559 | | | |
| Total | 0,164166 | 65 | | | | |

Analisando a Tabela 10, observa-se que a média dos volumes obtidos pelo modelo volumétrico de Takata é igual a 0,083 e a média dos volumes obtidos a partir da função de afilamento do 5º Grau é igual a 0,088. Da mesma forma, a variância de Takata é igual a 0,0022 e a variância de Schöpfer é igual a 0,0028.

De acordo com o resultado gerado pela Análise de Variância, o F calculado, igual a 0,1479, é menor do que o F crítico, igual a 3,9909. Desta forma, é possível afirmar que as médias dos dois métodos são estatisticamente iguais.

Ratificando o exposto, é possível observar que o valor-p é igual a 0,7018, isto é, um valor maior do que o nível de significância determinado para o trabalho, igual a 0,05. Sendo assim, como mencionado acima, deve-se aceitar H_0 . Portanto, fica comprovado estatisticamente que não existe diferença significativa entre o volume calculado pelo modelo volumétrico de Takata e o volume calculado pelo modelo de afilamento de Schöpfer, com 95% de probabilidade de acerto.

Leite et al. (2011) também comparou a média de um modelo de afilamento com a de um modelo volumétrico: modelos de Schöpfer e de Schumacher & Hall logarítmico. Tal estudo utilizou o teste de “t” para dados pareados e encontrou resultado semelhante ao encontrado no presente trabalho, ou seja, que não existe diferença significativa entre o volume calculado pelos dois diferentes métodos.

Do mesmo modo, Miguel (2010) comparou a média entre o modelo volumétrico de Takata e o modelo de afilamento de Schöpfer, em cada um dos três diferentes sítios analisados. O teste estatístico por ele utilizado foi o teste de “t” e não foi encontrada diferença significativa entre as médias dos dois métodos para nenhum sítio.

Sortimento / Processamento do inventário

Visando a obtenção da diversidade de produtos, cada tora de madeira foi calculada para ser destinada para um determinado fim, de acordo com a Tabela 3. Foi calculado o sortimento das 898 árvores medidas, em número de toras e em volume em metro cúbico. Em seguida, o cálculo foi extrapolado hectare e para o povoamento, conforme descrito na Tabela 12.

Tabela 12. Sortimento dos produtos madeireiros de eucalipto híbrido GG100.

| Produto | Nº Toras das parcelas | Nº toras/ha | Nº toras área total | Volume das parcelas (m ³) | Volume/ha (m ³) | Volume área total (m ³) | % Volume área total |
|------------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Mourão III | 1.016 | 1.881 | 7.638,81 | 36,65 | 67,87 | 275,53 | 33,06 |
| Mourão II | 2.666 | 4.937 | 20.044,37 | 53,51 | 99,09 | 402,31 | 48,28 |
| Mourão I | 1.120 | 2.074 | 8.420,74 | 11,73 | 21,73 | 88,23 | 10,59 |
| Lenha | 3.603 | 6.672 | 27.089,22 | 8,08 | 14,96 | 60,73 | 7,29 |
| Resíduo | - | - | - | 0,87 | 1,61 | 6,54 | 0,78 |
| Total | 8.405 | 15.565 | 63.193,15 | 110,84 | 205,26 | 833,34 | 100 |

De acordo com a Tabela 12, a maior porcentagem de produtos madeireiros será destinada para o Mourão tipo II, Mourão tipo III, pelo Mourão I e Lenha, respectivamente. O percentual de resíduo é extremamente baixo devido ao diâmetro de ponta fina ser pequeno – diâmetro menor que três centímetros. É possível perceber tal situação claramente através da Figura 10.

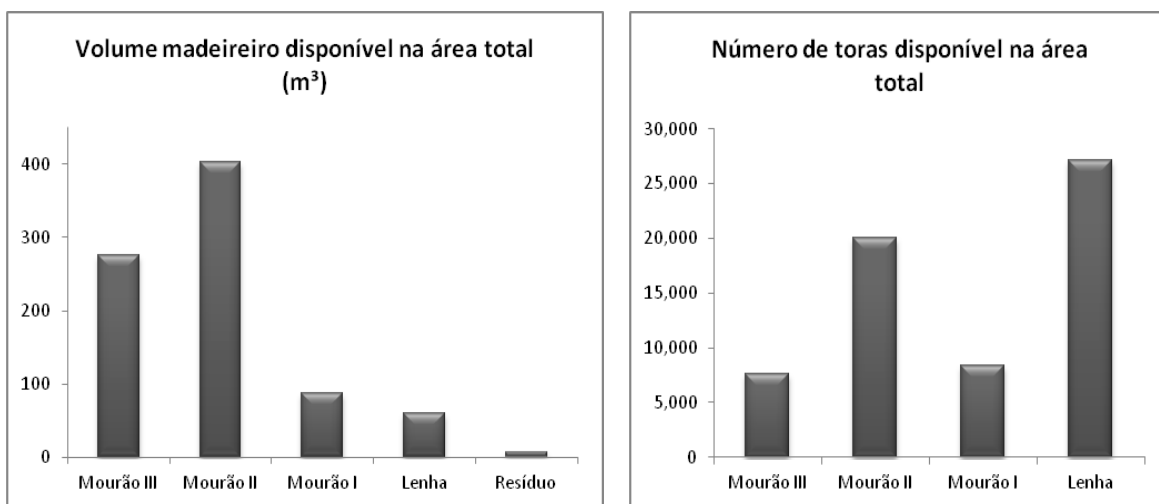


Figura 10. Quantificação do volume de madeira e número de toras por sortimento na área total.

Analisando a Figura 10, fica claro que a maior quantidade de volume foi obtida para Mourão III e Mourão II. E que o volume residual pode ser considerado insignificante, com

relação ao volume total. Entretanto, é necessário ressaltar que foi considerado resíduo apenas o volume da ponta, ou seja, com diâmetro menor que três centímetros.

Por outro lado, percebe-se que o produto com a maior quantidade de toras foi a Lenha. Entretanto, o volume deste sortimento foi baixo pelo fato de suas dimensões serem as menores dentre os produtos – diâmetro entre 3 e 5,9 centímetros, e comprimento de um metro.

Utilizando o processo de amostragem casual simples (PELLICO NETTO & BRENA, 1997), processou-se o inventário e o intervalo de confiança foi gerado para os sortimentos, para volume dos sortimentos e para o volume total da área, bem como extrapolado por hectare e para a área total. Para gerar tais dados, foram calculadas as estimativas dos parâmetros da população, que podem ser observadas na Tabela 13.

Tabela 13. Estatísticas do processamento do inventário e intervalos de confiança com relação ao volume.

| Estatísticas | Volume (m ³) | | | | | |
|--|--------------------------|-----------|----------|---------|---------|----------|
| | Mourão III | Mourão II | Mourão I | Lenha | Resíduo | Total |
| Média | 4,0719 | 5,9454 | 1,3038 | 0,8975 | 0,0966 | 12,3153 |
| Desvio-padrão | 0,4901 | 0,3160 | 0,0505 | 0,0267 | 0,0031 | 0,4177 |
| Coefficiente de Variação | 12,0354 | 5,3145 | 3,8723 | 2,9713 | 3,1922 | 3,3914 |
| Desvio-padrão da media | 0,1522 | 0,0981 | 0,0157 | 0,0083 | 0,0010 | 0,1297 |
| Erro da amostragem absoluto | 0,3509 | 0,2262 | 0,0361 | 0,0191 | 0,0022 | 0,2990 |
| Erro da amostragem % | 8,6173 | 3,8051 | 2,7725 | 2,1274 | 2,2856 | 2,4282 |
| Valor de T | 2,3060 | | | | | |
| Intensidade amostral | 6,9189 | 1,4694 | 0,7881 | 0,4663 | 0,5376 | 0,6062 |
| Intervalo de confiança por parcela | | | | | | |
| Limite inferior | 3,7210 | 5,7192 | 1,2677 | 0,8784 | 0,0944 | 12,0163 |
| Limite superior | 4,4228 | 6,1717 | 1,3400 | 0,9166 | 0,0988 | 12,6144 |
| Intervalo de confiança por hectare | | | | | | |
| Limite inferior | 62,0175 | 95,3198 | 21,1281 | 14,6407 | 1,5734 | 200,2716 |
| Limite superior | 73,7138 | 102,8609 | 22,3330 | 15,2772 | 1,6470 | 210,2398 |
| Intervalo de confiança para população | | | | | | |
| Limite inferior | 253,0313 | 388,9049 | 86,2025 | 59,7341 | 6,4194 | 817,1082 |
| Limite superior | 300,7524 | 419,6723 | 91,1188 | 62,3310 | 6,7197 | 857,7782 |

De forma análoga, é possível verificar as estatísticas e os intervalos de confiança com relação ao número de toras para cada sortimento e para o total, conforme Tabela 14.

Tabela 14. Estatísticas do processamento de inventário e intervalos de confiança com relação ao número de toras.

| Estatísticas | Número de toras | | | | |
|--|-----------------|-----------|----------|--------|--------|
| | Mourão III | Mourão II | Mourão I | Lenha | Total |
| Média | 113 | 296 | 124 | 400 | 934 |
| Desvio-padrão | 13 | 16 | 5 | 10 | 21 |
| Coefficiente de Variação | 12 | 5 | 4 | 2 | 2 |
| Desvio-padrão da media | 4 | 5 | 2 | 3 | 6 |
| Erro da amostragem absoluto | 10 | 11 | 4 | 7 | 15 |
| Erro da amostragem % | 9 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| Intervalo de confiança por parcela | | | | | |
| Limite inferior | 103 | 285 | 121 | 393 | 919 |
| Limite superior | 123 | 308 | 128 | 407 | 949 |
| Intervalo de confiança por hectare | | | | | |
| Limite inferior | 1.721 | 4.747 | 2.014 | 6.555 | 15.318 |
| Limite superior | 2.042 | 5.127 | 2.134 | 6.790 | 15.812 |
| Intervalo de confiança para população | | | | | |
| Limite inferior | 7.020 | 19.367 | 8.219 | 26.743 | 62.498 |
| Limite superior | 8.333 | 20.919 | 8.706 | 27.702 | 64.511 |

Analisando a Tabela 13, pode-se verificar que o povoamento possui volume total entre 817,1082 e 857,7782 m³, ou 200,2716 e 210,2398 m³/ha, o que consiste em um erro de amostragem relativo de 2,43%, subdivididos em quatro diferentes produtos, mais o volume residual. O coeficiente de variação obtido do inventário foi igual a 3,39%, o que valida a amostragem e corresponde a poucos erros relacionados ao inventário (SIMÕES, 2008). Este baixo coeficiente de variação pode ser explicado pela origem do material genético (clone), bem como tratamentos culturais adequados.

A Tabela 14, mostra um total de número de toras para o povoamento entre 62.498 e 64.511. Em outros números, existem entre 15.318 e 15.812 toras por hectare, subdivididas para quatro destinações, mais o resíduo.

Dividindo o volume total/ha pela idade do povoamento, foi possível encontrar o incremento médio anual, igual a 45,61 metros cúbicos. Oliveira et al. (1998) encontraram um incremento médio anual igual a 17,62 m³/ha.ano para *Eucalyptus camaldulensis* com 6 anos de idade, plantados em monocultivo em área de cerrado.

Já Miguel et al. (2010a), verificaram um IMA de 26,32 m³/ha.ano em plantio de *Eucalyptus urophylla* em solo do cerrado do Estado de Goiás para povoamento de 5 anos de idade. Portanto, pelo fato de o cerrado ser uma região que apresenta déficit hídrico, o IMA deste trabalho, igual a 45,61 m³/ha.ano indica uma alta produtividade, o que pode ser consequência de material genético de boa procedência e realização de tratamentos culturais.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados gerados neste trabalho, a equação hipsométrica que melhor se ajustou para as condições apresentadas, foi a de Curtis, com R² igual a 0,55 e Syx% igual a 6,75%.

Em se tratando dos modelos volumétricos, o que melhor se ajustou foi o modelo de Takata, que obteve R² igual a 0,9869 e Syx% igual a 6,61%. Entretanto, os modelos de Schumacher & Hall não-linear e de Naslund também foram considerados bons o suficiente para serem utilizados.

Já, para modelos de afilamento, o que melhor se ajustou dentro das condições estudadas foi o de Schöepfer, também conhecido por polinômio do quinto grau. Da mesma forma, os modelos de Biging e de Hradetzky também poderiam ser utilizados sem problemas por serem considerados modelos que se ajustaram à base de dados.

O teste da ANOVA para verificação da compatibilidade entre o modelo de Takata e o modelo de Schöepfer foi realizado e encontrou-se F calculado menor do que F crítico, sendo possível, então, afirmar que as médias dos dois métodos são estatisticamente iguais.

Após o cálculo do volume madeireiro, concluiu-se que o talhão de 4,06 hectares de eucalipto GG100 possui 833,34 m³ de madeira para venda. O produto que gerou maior volume de madeira foi o Mourão do tipo II, que possui diâmetro entre 8 e 11,9 centímetros e

comprimento de 2,20 metros. Este produto foi seguido pelo Mourão III, pelo Mourão I e pela Lenha, consecutivamente. Concluiu-se, ainda, que houve baixo percentual de resíduo madeireiro, podendo ser considerado insignificante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, H.B.; **Avaliação econômica de eucalipto irrigado em diferentes cenários.** Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2010. (Tese de Doutorado)

ASSIS, A.L. de; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de; ACERBI, F.W.; OLIVEIRA, A.D. de; Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, v.7, n.1, p.020-040. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2001.

AZEVEDO, G.B. de; SOUSA, G.T. de O.; SILVA, H.F.; BARRETO, P.A.B.; NOVAES, A.B. de; **Seleção de modelos hipsométricos para quatro espécies florestais nativas em plantio misto no Planalto da Conquista na Bahia.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.7, n.12, 2011.

BATISTA, A.F.; Resposta Técnica: Eucalipto - Cultivo. **Casa do Produtor Rural.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Piracicaba, SP, 2010.

BERGER, R.; **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* SMITH sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** UFSM, Santa Maria, RS, 2000. (Dissertação de Mestrado).

CARVALHO, A.D.F. de; **Histórico do Melhoramento Genético de Eucalipto no Brasil.** Programa de pós-graduação em genética e melhoramento de plantas. USP, ESALQ, Piracicaba, SP, 2006.

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

DOSSA, D.; **Cultivo do eucalipto – Importância socioeconômica e ambiental**. Embrapa Florestas. Sistemas de produção, 4, 2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/01_01_historico.htm>. Acesso em: 22/03/2012.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. 1966. **Applied regression analysis**. New York: Jonh Willey & Sons. 407p.

FIGUEIREDO, E.O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. de; Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f.; **Acta Amazonica**, vol.36, n.4, Manaus, 2006.

FREITAS, T.A.S de; BARROSO, D.G.; CARNEIRO, J.G. de A.; PENCHEL, R.M.; FIGUEIREDO, F.A.M. de A.; **Mudas de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos**. Revista Árvore, Viçosa – MG, v.30, n.4, p.519-528, 2006.

GONÇALEZ, J.C.; BREDÁ, L. de C.S.; BARROS, J.F.M.; MACEDO, D.G.; JANIN, G.; COSTA, A.F. da; VALE, A.T. do. **Características tecnológicas das madeiras de Eucalyptus grandis W.Hill ex Maiden e Eucalyptus cloeziana F.Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.16, n.3, p.329-341, 2006.

HARIDASAN, M. **Solos do Distrito Federal**. In Cerrado, caracterização ocupação e perspectivas (M.N.Pinto, ed). Editora Universidade de Brasília; Brasília, 1990; p.309-330.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SANTANA, O.A.; PAULA, J.E. de; IMAÑA, C.R.; Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. **Floresta**, Curitiba, PR, v.39, n.1, p.107-116, 2009.

KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.H.G; Taper functions and their application in forest inventory. **The Forestry Chronicle**. August, 1969.

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.

LEITE, D.R.; MIGUEL, E.P.; SANTOS, G.A.dos; ENCINAS, J.M.I.; REZENDE, A.V.; **Análise comparativa entre dois procedimentos para estimativa da variável volume em um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, no município de Mineiros-GO**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.7, n.13, 2011, pag.1684-1700.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E.; **Forest inventory**. Munchen, BLV, 1973, v.2. 479p.

MACHADO, S.A.; BAILEY, R.L.; BASSO, S.F.; JUNIOR, V.G.B.; Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Estado do Paraná. **CERNE**, v.1, n.1, p.05-12, 1994.

MACHADO, S.A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M.B. da; FIGUEIREDO-FILHO, A.; FIGUEIREDO, D.J. de; **Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Schiede**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.48, p.41-64, 2004.

MACHADO, S.A.; NASCIMENTO, R.G.M.; AUGUSTYNCZIK, A.L.D.; SILVA, L.C.R.da; FIGURA, M.A.; MIGUEL, E.P.; TEO, S.J.; Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.5-16, 2008.

McTAGUE, J.P.; BATISTA, J.L.F.; STEINER, L.H.; **Equações de volume total, volume comercial e forma de tronco para plantações de *Eucalyptus* nos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro**. IPEF, n.41/42, p.56-63, 1989.

MENDONÇA, A.R. de; **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste**; Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2006.

MENDONÇA, A.R. de; SILVA, G.F. de; OLIVEIRA, J.T.S.; NOGUEIRA, G.S.; ASSIS, A.L. de; Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, Universidade Federal de Lavras, v.13, n.1, p.71-82, 2007.

MIGUEL, E.P.; **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás**. Curitiba: UFPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, p. 161, 2009.

MIGUEL, E.P.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E.; Using the Weibull function for prognosis of yield by diameter class in *Eucalyptus urophylla* stands. **Cerne**, Lavras, v.16, n.1, p.94-104, 2010a.

MIGUEL, E.P.; CANZI, L.F.; RUFINO, R.F.; SANTOS, G.A.dos; Ajuste de modelo volumétrico e desenvolvimento de fator de forma para plantios de *Eucalyptus grandis* localizados no município de Rio Verde – GO. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.6, n.11, p.1-13, 2010b.

MIGUEL, E.P.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E.; **Modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do Estado de Goiás**. FLORESTA, Curitiba, PR, vol.41, n.2, p.355-368, 2011.

MORI, E.S.; **Melhoramento genético florestal: ousadia e sucesso**. Revista Opiniões. Ribeirão Preto, SP, 2006.

NETTO, C.C.; **Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos**. Santa Maria: UFSM. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, p.105, 2008.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de Janeiro, 1989.

OLIVEIRA, A.D.de; LEITE, A.P.; BOTELHO, S.A.; SCOLFORO, J.R.S.; Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Cerne**, v.4, n.1, p.34-56, 1998.

PELLICO NETTO, S.; **As curvas relativas contínuas de forma de Preußner para o sortimento dos fustes de espécies florestais**. *Cerne*, Lavras, v.1, n.1, p.17-27, 1994.

PELLICO NETTO, S.; BRENA, D.A.; **Inventário Florestal**. Curitiba, 316 p., 1997.

QUEIROZ, D.; **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**; Curitiba: UFPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, p.134, 2006.

REZENDE, A.V.; VALE, A.T.; SANQUETTA, C.R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J.M.; Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.71, p.65-76, 2006.

ROLIM, S.G.; COUTO, H.Z.T. do; JESUS R.M. de; FRANÇA, J.T.; Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amazonica**, vol.36 (1), p.107-114, 2006.

RUFINO, R.F.; MIGUEL, E.P.; SANTOS, G.A.dos; SANTOS, T.E.B.dos; SOUZA, F.de; **Ajuste de modelos hipsométricos para um povoamento de eucaliptos conduzido sobre o sistema de rebrota**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, vol.6, n.10, 2010

SCHMIDT, P.B.; **Determinação indireta da relação hipsométrica para povoamentos de *Pinus taeda* L.** Revista Floresta, 1977.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M.; TOTTI, J.A.; BAZZO, J.L.; **Forma de tronco e sortimentos de madeira de *Eucalyptus grandis* Maiden para o estado do Rio Grande do Sul.** Ciência Florestal, v.6, n.1, p.79-88, 1996.

SCOLFORO, J.R.S.; RIOS, M.S.; OLIVEIRA, A.D. de; MELLO, J.M. de; MAESTRI, R. **Acuracidade de equações de afilamento para representar o perfil do fuste de *Pinus elliottii*.** Cerne, v.4, n.1, p.100-122, 1998.

SILVA, G.F.da; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L.de; LEITE, H.G.; **Uso de métodos estatísticos para comparar alternativas de estimação do volume comercial.** Revista Árvore, Viçosa – MG, v.21, n.1, p.59-70, 1997.

SILVA, J.B.C. da; **Clonagem: Um método natural de reprodução.** Embrapa Hortaliças, 1999. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/noticias/not_18.htm> Acesso em 22/03/2012.

SIMÕES, M.; Métodos cromatográficos, volumétricos e potenciométricos para análise química quantitativa de água subterrânea e sua aplicação no aquífero cenozoico da bacia do Baixo Tejo, Portugal. **Geociências.** São Paulo, UNESP, v.27, n.2, p.161-169, 2008.

SOARES, T.S.; CARVALHO, R.M.M.A; VALE, A.B. do; **Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos.** Revista Árvore, Viçosa – MG, v.27, n.5, p.689-694, 2003.

SOUZA, C.A.M. de; SILVA, G.F. da; XAVIER, A.C.; CHICHORRO, J.F.; SOARES, C.P.B.; SOUZA, A.L. de; **Avaliação de modelos segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.3, p.453-463, 2008(a).

SOUZA, C.A.M. de; SILVA, G.F.da; XAVIER, A.C.; MENDONÇA, A.R. de; ALMEIDA, A.Q. de; **Avaliação de modelos de afilamento não-segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.18, n.3, p.393-405, 2008(b).

SOUZA, C.A.M. de; CHASSOT, T.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; **Modelos de afilamento para o sortimento do fuste de *Pinus taeda* L.** Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.9, p.2506-2511, 2008(c).

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; **Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.16, n.3, p.319-327, 2006.

VIANA, M.B.; O eucalipto e os efeitos ambientais do seu plantio em escala. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Brasília, 2004.

WILCKEN, C.F.; LIMA, A.C.V.; DIAS, T.K.R.; MASSON, M.V.; FERREIRA FILHO, P.J.; POGETTO, M.H.F.A.D.; **Guia prático de manejo de plantações de eucalipto.** Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. UNESP, Botucatu, São Paulo, 2008.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.Y.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A.; DRUSZCZ, J.P.; HOSOKAWA, R.T.; MELLO, A.A.de; Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. Floresta, Curitiba, PR, v.42, n.1, p.169-176, 2012.