

EDER PEREIRA MIGUEL

AVALIAÇÃO BIOMETRICA E PROGNOSE DA PRODUÇÃO DE *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, com requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador:

Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Co-orientadores:

Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Prof. Dr. Julio Eduardo Arce

CURITIBA

2009

A minha mãe, Eterna Pereira Rosa e ao meu pai, Antônio Miguel Pereira, que muitas das vezes abriram mão dos seus sonhos para que eu pudesse realizar os meus, e ao meu Irmão Elvis Cleiton Pereira Miguel.

OFEREÇO

“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar seus obstáculos”

A todas as pessoas que sempre estiveram presentes na minha vida e acreditaram que um dia isso poderia se realizar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado esta oportunidade, saúde e força para realização deste trabalho.

A minha família pela enorme contribuição amorosa e incentivadora, pois sem eles seria impossível a realização dessa conquista.

Ao professor Sebastião do Amaral Machado pelo aprendizado, convivência, amizade e um exemplo de profissionalismo a ser seguido.

Aos co-orientadores Afonso Figueiredo Filho e Julio Eduardo Arce pelas sábias sugestões dadas para a melhoria do trabalho.

A minha namorada pela paciência, carinho e apoio.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo para a realização deste trabalho.

Ao professor Décio Figueiredo, pela amizade e convivência.

Ao professor Sylvio Péllico pelos seus ensinamentos, amizade e sábias sugestões dadas.

A todos os meus professores do departamento de Engenharia Florestal da UFPR, que de uma forma ou outra contribuíram para esta minha conquista além do ensinamento passado.

Aos funcionários da Pós-Graduação, Reinaldo e Davi, que sempre foram muito prestativos todas as vezes que precisei.

Aos amigos do barracão da Bola, pela as horas de lazer nos fins de tarde das quintas-feiras. Ao meu amigo Djeison Batista (Carioca), sempre decisivo quando o time precisava.

A Empresa Anglo American (CODEMIM), nas pessoas dos engenheiros florestais Antônio Elias Fardin e Ademir Forlin pelo fornecimento da área de estudo, amizade, companheirismo e prontidão em ajudar.

Aos Companheiros e amigos do Laboratório de Dendrometria: Professor Sebastião, Professor Décio, Professor Saulo Téo, Marco Figura, Luís, Rodrigo, Alan e ao Pesquisador Rode.

Aos amigos Lucas Gomide, Mauro Yoshitane, Professor Saulo Téo, pelo companheirismo e convivência no decorrer da realização deste trabalho, e nas partidas de tênis realizadas no Botânico.

Ao meu amigo, companheiro e colega desde a época da graduação Fabrício Assis Leal, independente da distância e dos seus afazeres sempre que precisei estive pronto a ajudar.

Enfim, a todos vocês citados acima fica aqui minha gratidão e meus sinceros votos de sucesso e realização pessoal e profissional na vida de cada um.

RESUMO GERAL

Este estudo foi realizado em povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com uma densidade inicial de aproximadamente 1666 árvores por hectare, (3x2), em propriedade da Empresa Anglo American plc (CODEMIM), localizada na região de Niquelândia, no estado do Goiás. O objetivo foi estudar aspectos dendrométricos e biométricos do povoamento, visando: selecionar modelos volumétricos de simples e dupla entrada de forma independente, para a estimativa do volume total e comercial com e sem casca; selecionar modelos hipsométricos para a estimativa da variável altura total e comercial em função do DAP e da Altura Total respectivamente; selecionar o modelo que apresenta a classificação de sítio mais estável pelo método da curva média para as árvores dominantes na idade de referência; avaliar e selecionar dentre os modelos polinomiais qual oferece melhor precisão para a estimativa do diâmetro e do volume ao longo do fuste; ajustar a distribuição densidade de probabilidade Weibull aos dados do povoamento; ajustar modelos que representem os atributos do povoamento; projetar o crescimento e produção por classe diamétrica e os possíveis produtos madeiráveis de serem obtidos de acordo com um diâmetro de ponta fina pré-determinado para o ano de rotação técnica adotado pela empresa (sete anos). A base de dados foi composta por 21 parcelas remeidas de 480 m², onde foram medidas o DAP de todos os indivíduos que compunham as parcelas e Altura das 15 primeiras árvores, juntamente com a altura das dominantes pelo princípio de Assmann. Ao todo foram cubadas 48 árvores divididas em três classes de diâmetros com intervalos de 5 cm. Para melhor entendimento e por motivos práticos esta dissertação foi dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo foi feito um referencial teórico geral, os outros quatro capítulos abordaram temas como classificação de sítios, ajustes de equação volumétrica de simples e dupla entrada, ajuste de relações hipsométricas, ajuste de funções de afilamento e ajuste de modelos para representar os atributos do povoamento, visando a prognose por classe de diâmetros. O desenvolvimento dos métodos e resultados serão apresentados em cada capítulo específico.

Palavras-chave: Modelagem, Função de afilamento, Crescimento, Produção.

GENERAL SUMMARY

This study was carried out in a stand of *Eucalyptus urophylla* with initial density of approximately 1666 trees per hectare (3x2 m) in an area of the Anglo American Company plc (CODEMIM), located in the country of Niquelândia, in the state of Goiás. The objective was to study dendrometric and biometric aspects of the stand aiming to select volumetric models of simple and double entrance, independently, to estimate total and merchantable volume with and without bark; selecting hypsometric models to estimate total and merchantable height by using DBH and total height respectively; selecting the model that best shows the site classification using the method of the standard curve for the dominant trees at the age of reference; evaluate and select the most precise polynomial model to estimate diameter and volume along the stem; adjust the Weibull function of density probability with the data from the stand; adjust models that represent the attributes of the stand; project the growth and yield per diameter class and the possible timber products that could be attained according to a pre determined diameter at the tip for the rotation age adapted by the company (seven years). The data base was composed by 21 plots, each having 480 m², where the DBH of all individuals and the height of the first 15 trees were measured along with the height of the dominant trees according to the Assmann principle. Forty-eight trees divided in three diameter classes with 5 cm intervals had their real volumes determined. This study was divided into five chapters for best understanding. The first chapter has a general theoretical reference and the other four chapters tackle subjects such as site classification, adjustments of simple and double entrance volumetric equations, adjustments of hypsometric relations, taper function adjustments and models adjustment to represent the attributes of the stand aiming at a prognosis per diameter class. The development of the methods and results will be made in each specific chapter.

Key-word: Modeling, taper function, growth, yield.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPITULO I - REVISÃO DE LITERATURA	13
1.1 Abordagem Geral Sobre o Gênero <i>Eucalyptus</i>	13
1.2 O Melhoramento Genético do Eucalipto	15
1.3 A Clonagem do Eucalipto	16
1.4 Sítio Florestal.....	18
1.4.1 Altura das Árvores Dominantes	23
1.4.2 Dados Para Construção das Curvas de Índice de Sítio.....	23
1.4.3 Tipos de Curvas de Índice de Sítio	26
1.4.4 Principais Métodos Para Construção de Curvas de Índice de Sítio.....	30
1.4.5 Método da Curva Guia ou Curva Média.....	31
1.4.6 Método da Diferença Algébrica.....	32
1.5 Volume.....	33
1.5.1 Perfil ou Forma da Árvore.....	33
1.5.2 Cubagem	34
1.6 Funções de Volume ou Equações Volumétricas	37
1.7 Relações Hipsométricas	39
1.8 Função de Afilamento.....	42
1.9 Fator de Forma	46
1.10 Distribuição Diamétrica	47
1.11 Prognose da produção.....	50
1.12 Planejamento da Produção.....	52
1.13 Rotação Florestal.....	53
1.14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CAPITULO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SÍTIOS FLORESTAIS PARA POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus urophylla</i> NA REGIÃO NORTE DO ESTADO GOIÁS DE.....	60
RESUMO	60
SUMMARY	60
2.1 INTRODUÇÃO.....	61
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	63
2.2.1 Área de Estudo	63
2.2.2 Caracterizações do plantio	64
2.2.3 Classificação de sítio florestal.....	65
2.2.4 Escolha do Melhor Modelo	67
2.2.5 Teste de anamorfismo	68
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
2.3.1 Ajuste dos modelos testados	69
2.3.2 Limites de classes de Sítio.	72
2.3.3 Teste de anamorfismo para o modelo selecionado	75
2.4 CONCLUSÕES.....	76
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

CAPITULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS E VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMAR O VOLUME TOTAL E COMERCIAL DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS.....78

RESUMO	78
SUMMARY	79
3.1 INTRODUÇÃO.....	80
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	81
3.2.1 Caracterização da área de estudo.....	81
3.2.2 Cubagem rigorosa	82
3.2.3 Ajuste das relações hipsométrica nas estimativas da altura.....	83
3.2.4 Ajuste dos modelos volumétricos	83
3.2.5 Escolha dos melhores modelos	84
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
3.3.1 Ajuste dos modelos hipsométricos para estimativa da altura total.....	87
3.3.1.1 Ajuste dos modelos hipsométricos para estimativa da altura Comercial em função do DAP	90
3.3.1.2 Ajuste dos modelos para estimativa da altura Comercial em função da altura total.....	92
3.3.2 Ajuste dos modelos volumétricos	96
3.3.2.1 Ajustes dos modelos Volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume total e comercial, com e sem casca.	96
3.3.2.2 Ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume total e comercial, com e sem casca.	104
3.4 CONCLUSÕES.....	117
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118

CAPITULO - 4 SELEÇÃO DE MODELOS POLINOMIAIS PARA REPRESENTAR O PERFIL E O VOLUME DO FUSTE DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS. 119

RESUMO	119
SUMMARY	119
4.1 INTRODUÇÃO.....	120
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	122
4.2.1 Caracterização da área de estudo e do plantio estudado.....	122
4.2.2 Cubagem Rigorosa	122
4.2.3 Ajuste dos modelos de afilamento	123
4.2.4 Modelos de afilamentos	123
4.2.4.1 Polinômio de quinto grau (Schoepfer, 1966).....	123
4.2.4.2 Polinômio de potências fracionarias e inteiras (Hradetzky, 1966)	124
4.2.4.3 Polinômio de Segundo Grau (Kozak et. al., 1969).....	126
4.2.5 Escolha do melhor modelo ajustado.....	127
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	127
4.3.1 Ajuste dos modelos de afilamento para expressar o perfil com casca.	129
4.3.2 Ajuste dos modelos de afilamento para a estimativa do (di), sem casca....	131
4.3.3 Ajuste dos modelos de afilamento para a a estimativa do volume com e sem casca.	134
4.4 CONCLUSÕES.....	129
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138

CAPITULO 5 - UTILIZAÇÃO DA FUNÇÃO DE PROBABILIDADE WEIBULL PARA PROGNOSE DA PRODUÇÃO POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS..... 139

RESUMO	139
SUMMARY	140
5.1 INTRODUÇÃO.....	141
5.2 MATERIAIS E MÉTODOS	143
5.2.1 Caracterização da área de estudo do povoamento	143
5.2.2 Base de dados do povoamento estudado.....	143
5.2.3 Classificação de sítio	144
5.2.4 Ajuste da função de densidade Weibull para a representação da estrutura diamétrica do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i>	144
5.2.5 Seleção de modelos dos atributos do povoamento	148
5.2.6 Projeção do crescimento e da produção.....	149
5.3 RESULTADO E DISCUSSÃO	150
5.3.1 Inventário Florestal	150
5.3.2 Ajuste da distribuição Weibull	151
5.3.3 Modelos para a prognose do crescimento e da produção	152
5.3.4 Prognose do número de indivíduos por classe diamétrica.....	154
5.3.5 Estimativas de rendimento de múltiplos produtos.....	158
5.4 CONCLUSÕES.....	160
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	161

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1	Curvas anamórficas de índice de sítio	28
FIGURA 1.2	Curvas polimórficas que não se cruzam dentro da faixa de idade de interesse.....	29
FIGURA 1.3	Curvas polimórficas que se cruzam dentro da faixa de idade de interesse.....	30
FIGURA 2.1	Localização da área de estudo	64
FIGURA 2.2	Resíduo percentual em função da idade (anos), para os 7 modelos testados pelo método da curva-guia	71
FIGURA 2.3	Curvas limite das classes de sítio para o povoamento clonal de <i>Eucalyptus Urophylla</i> no município de Niquelândia no Estado de Goiás.....	74
FIGURA 3.1	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as seis equações hipsométricas ajustadas, considerando o conjunto de dados do povoamento de <i>Eucalyptus Urophylla</i> para a estimativa da altura total.....	88
FIGURA 3.2	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP e da variável estimada para as seis equações hipsométricas ajustadas.....	91
FIGURA 3.3	Correlação simples (r) entre a altura comercial, e a altura total	92
FIGURA 3.4	Distribuição dos resíduos percentuais em função da altura total e da variável estimada para as seis equações hipsométricas ajustadas.....	94
FIGURA 3.5	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as seis equações volumétricas de simples entrada testadas	97
FIGURA 3.6	Distribuição dos resíduos percentuais em função do dap, e da variável estimada para as seis equações volumétricas de simples entrada testadas	100
FIGURA 3.7	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, para as seis equações volumétricas de simples entrada testadas.....	103
FIGURA 3.8	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as dez equações volumétricas de dupla entrada testadas	107
FIGURA 3.9	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as dez equações volumétricas de dupla entrada testadas	111
FIGURA 3.10	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as dez equações volumétricas de dupla entrada testadas	115
FIGURA 4.1	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as três equações de afilamento testadas ..	130
FIGURA 4.2	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as três equações de afilamento testadas ..	133
FIGURA 4.3	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as três equações de afilamento testadas ..	135
FIGURA 4.4	Distribuição dos resíduos percentuais em função do DAP, e da variável estimada para as três equações de afilamento testadas ..	137

FIGURA 5.1	Distribuição diamétrica observada e teórica contínua pela função weibull três parâmetros do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> ..	150
FIGURA 5.2	Evolução diamétrica do povoamento de <i>eucalyptus urophylla</i> , predito pela função weibull, do ano três, para o ano cinco e posteriormente para o ano sete	153
FIGURA 5.3	Rendimento volumétrico para os possíveis produtos comerciais em um povoamento de <i>eucalyptus urophylla</i> para uma idade de sete anos nos diferentes sítios produtivos	158

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1	Modelos volumétricos de simples entrada	38
TABELA 1.2	Modelos volumétricos de dupla entrada.....	38
TABELA 1.3	Modelos de relação hipsométrica.....	41
TABELA 1.4	Modelos de afilamento não segmentados.....	46
TABELA 2.1	Modelos ajustados pelo método da curva-guia para expressar a capacidade produtiva dos diferentes locais.....	66
TABELA 2.2	Equações resultante dos modelos ajustados	69
TABELA 2.3	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos testados pelo método da curva guia, bem como a estabilidade das 21 parcelas remedidas	70
TABELA 2.4	Valores encontrados para o cálculo dos limites inferiores e superiores nas diferentes classes de sítios na idade índice.....	72
TABELA 2.5	Classes de sítios adotada para o povoamento clonal de <i>Eucalyptus urophylla</i> no município de Niquelândia no estado de Goiás considerando o modelo de Chapman & Richards, pelo método da curva-guia.....	73
TABELA 2.6	Parâmetros estimados para relação índice de sítio – altura das árvores dominantes para diferentes idades	74
TABELA 3.1	Característica do povoamento de <i>Eucaliptos urophylla</i> estudado..	80
TABELA 3.2	Frequência de árvores cubadas para o povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> , nas diferentes classes de diâmetros adotadas	81
TABELA 3.3	Modelos hipsométricos ajustados para a estimativa da variável altura total e altura comercial	82
TABELA 3.4	Modelos volumétricos de simples entrada ajustados	82
TABELA 3.5	Modelos volumétricos de dupla entrada ajustados	83
TABELA 3.6	Resultado dos coeficientes estimados para os modelos hipsométricos testados com suas estatísticas de ajuste e precisão	86
TABELA 3.7	Resultado dos coeficientes estimados para os modelos hipsométricos testados para a estimativa da altura comercial em função do dap, com suas estatísticas de ajuste e precisão	89
TABELA 3.8	Equações ajustadas para a estimativa da altura comercial em função da altura total.....	92
TABELA 3.9	Equações volumétricas de simples entrada para a estimativa do volume total com casca.....	95
TABELA 3.10	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos ajustados para a estimativa do volume total em função do DAP ...	95
TABELA 3.11	Equações volumétricas de simples entrada para a estimativa do volume total sem casca.....	98
TABELA 3.12	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos ajustados para a estimativa do volume total sem casca em função do DAP	98
TABELA 3.13	Coeficientes estimados para os modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume comercial sem casca.....	101
TABELA 3.14	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos	

	ajustados para a estimativa do volume comercial sem casca em função do DAP	101
TABELA 3.15	Equações volumétricas de dupla entrada para a estimativa do volume total com casca.....	104
TABELA 3.16	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume total com casca em função do DAP e da altura.....	105
TABELA 3.17	Resultado dos coeficientes estimados para os modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume total sem casca	108
TABELA 3.18	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume total sem casca em função do DAP e da altura.....	109
TABELA 3.19	Coefficientes estimados para os modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume comercial sem casca.....	112
TABELA 3.20	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos volumétricos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume comercial sem casca em função do DAP e da altura	113
TABELA 4.1	Frequência de árvores cubadas por classe de diâmetro.....	121
TABELA 4.2	Equação de afilamento ajustadas visando à estimativa dos diâmetros com casca a qualquer altura pré-especificada	129
TABELA 4.3	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos de afilamento ajustados.....	129
TABELA 4.4	Equações de afilamento ajustados visando à estimativa dos diâmetros sem casca a qualquer altura pré-especificada	131
TABELA 4.5	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos de afilamentos ajustados.....	132
TABELA 4.6	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos de afilamentos cuja suas respectivas equações foram integradas para a obtenção do volume total com casca.....	134
TABELA 4.7	Estatísticas de ajuste e precisão dos modelos de afilamento usados para a obtenção do volume total sem casca	136
TABELA 5.1	Especificação dos múltiplos produtos da madeira para o <i>Eucalyptus urophylla</i>	149
TABELA 5.2	Características e estimativas para o volume do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> , no município de Niquelândia na região norte do Estado de Goiás, com uma idade de cinco anos	149
TABELA 5.3	Valores de Kolmogorov-smirnov de máxima divergência entre a distribuição observada e a distribuição teórica da função weibull três parâmetros	151
TABELA 5.4	Equações que expressam os atributos do povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> para região norte do Estado de Goiás.....	152
TABELA 5.5	Estimativa dos parâmetros A, B E C da função Weibull por sítio na idade projetada	154
TABELA 5.6	Estimativa do número de árvores por hectare aos 7 anos por classe de diâmetro e por sítio	154
TABELA 5.7	Volume projetado para o ano 7 por classe diamétrica, pelo modelo volumétrico de Takata, e pelo modelo de Afilamento do Polinômio do 5º Grau, para o sítio I	155

TABELA 5.8	Volume projetado para o ano sete por classe Diamétrica, pelo modelo volumétrico de Takata, e pelo modelo de afilamento do Polinômio do 5º Grau, para o sítio II	156
TABELA 5.9	Volume projetado para o ano 7 por classe diamétrica, pelo modelo volumétrico de Takata, e pelo modelo de afilamento do polinômio do 5º Grau, para o sítio III	156

INTRODUÇÃO GERAL

A história demonstra que a maioria dos países desenvolvidos utilizou o capital oriundo dos recursos naturais, especialmente dos florestais, para alavancar seus processos de desenvolvimento. Hoje, alguns países são detentores de coberturas florestais expressivas porque reconheceram, desde cedo, o valor e a importância dos recursos florestais, não só como fonte energética e de matéria-prima, mas também para a conservação e estabilidade dos demais recursos naturais renováveis.

O Brasil também vem utilizando seus recursos florestais, desde seu descobrimento, como um dos fatores de promoção de seu desenvolvimento. Todavia, mesmo após cinco séculos, ainda não reconhece integralmente o valor e a importância deles. Apesar de contar com uma legislação florestal e ambiental satisfatória, na grande maioria das vezes continua usando seus recursos florestais sem critérios técnicos apropriados e uma base sólida de informações, que permita definir onde, quando, como e em que quantidade esses podem ser utilizados.

Conhecer o volume de madeira de uma floresta é de extrema relevância, pois a valorização da madeira e dos produtos florestais e a necessidade do uso social, ecológico e economicamente correto dos recursos florestais nativos e plantados aumentam cada vez mais. A preocupação com o planejamento, ordenamento e o uso da madeira cada vez exigem uma maior precisão.

A quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentáveis das florestas. Para quantificar esse volume executa-se basicamente inventários florestais que consistem na medição de parte da população, isto é, de unidades amostrais ou parcelas, para depois extrapolar os resultados para a área total. Assim, visando planejar as operações florestais, têm-se estimativas da quantidade e da distribuição da madeira disponível.

Nos últimos anos é um consenso da parte dos pesquisadores florestais que para um melhor gerenciamento dos produtos advindos do meio florestal se faz necessário o uso das técnicas do estudo do crescimento e da produção, a fim de que se viabilize a exploração de seus produtos, bens e ou serviços provenientes de forma planejada e racional, garantindo, assim, o fluxo contínuo desses recursos.

O planejamento é essencial no manejo florestal, em razão do longo tempo envolvido e também das dificuldades de promover mudanças bruscas na condução de uma floresta, sem alterar a sustentabilidade.

Em face disto, é do interesse de qualquer administrador ligado ao setor florestal conseguir quantificar e prognosticar, com confiabilidade, o estoque de uma determinada floresta. A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor.

O presente trabalho foi dividido em capítulos para melhor entendimento do estudo realizado, no qual o capítulo 1 faz uma abordagem geral de todo o referencial teórico.

Sendo assim, o objetivo geral desta dissertação foi estudar aspectos biométricos de povoamentos de clones de *Eucalyptus urophylla* no município de Niquelândia no estado de Goiás.

Os objetivos específicos foram:

- Realizar a classificação dos sítios florestais para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás;
- Selecionar equações volumétricas e hipsométricas para a predição total e comercial do volume de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás;
- Selecionar modelos polinomiais para representar o perfil e o volume do fuste de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás, e
- Utilizar a função de probabilidade weibull para prognose da produção, por classe diamétrica, para povoamentos de *Eucalyptus urophylla* na região norte do estado de Goiás

CAPITULO I - REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Abordagem Geral Sobre o Gênero *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e possui mais de 600 espécies conhecidas, além de variedades e híbridos. Ocorre naturalmente em uma gama de condições ambientais que vão desde áreas pantanosas, até muito secas, de solos de baixada com alta fertilidade, até solos arenosos muito pobres. Além disso, ocupa ambientes altamente variáveis, tanto em termos de precipitação quanto de temperaturas. Toda essa diversidade se concentra principalmente no continente australiano, apresentando, também, ocorrências na Indonésia e ilhas adjacentes.

Vulgarmente conhecido como “gum trees”, isto é, árvore da goma, o eucalipto deve esse apelido ao fato de na terra de origem muitas espécies soltam, por qualquer ferimento, bastante seiva e resina com um odor muito forte. Sua velocidade de crescimento o tornou, há muito tempo o gênero mais exportado para países que precisam repor suas árvores.

No Brasil, até o princípio do século XX, o eucalipto foi plantado como árvore decorativa. Desde então, em razão da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, surgiram as primeiras plantações com fins comerciais, e o eucalipto passou a ser cada vez mais utilizado como combustível em forma de lenha e carvão.

Segundo Silva & Paiva (1996), o eucalipto é uma planta originária da Austrália. A partir do início do século passado, o eucalipto teve seu plantio intensificado no Brasil, sendo usado durante algum tempo nas ferrovias, como dormentes e lenha para as marfins-fumaças e mais tarde como poste para eletrificação das linhas. No final dos anos 20 as siderúrgicas mineiras começaram a aproveitar a madeira do eucalipto, transformando-a em carvão vegetal utilizado no processo de fabricação de ferro-gusa. A partir daí, novas aplicações foram desenvolvidas. Hoje se encontra muito disseminado desde o nível do mar até 2.000 metros de altitude, desde solos extremamente pobres, até solos ricos, secos e alagados.

Estimam-se que existe aproximadamente 18 milhões de hectares de eucalipto, plantados em 90 países e não há outra árvore que seja tão cultivada no mundo. No Brasil o eucalipto foi a solução para a silvicultura considerada necessária

desde 1821, de acordo com Queiroz & Barrichelo (2007), o Brasil possui, atualmente, a segunda maior área reflorestada com espécies de *Eucalyptus* do mundo, perfazendo um total aproximado de três milhões e quinhentos mil hectare, cuja madeira produzida é destinada, principalmente, à produção de polpa celulósica e carvão vegetal.

Atualmente, do eucalipto tudo se aproveita. Das folhas extraem-se óleos essenciais empregados em produtos de limpeza, alimentícios, perfumes e até em remédios. A casca oferece o tanino usado no curtimento do couro. O tronco fornece madeira para sarrafos, lambris, ripas, vigas, postes, varas, esteios para minas, mastros para barco, tábuas para embalagens e móveis. Sua fibra é utilizada como matéria-prima para a fabricação de papel e celulose; mais importante, talvez, é que os eucaliptais brasileiros absorvem aproximadamente 196 bilhões de toneladas de carbono, o que é uma contribuição vital à campanha mundial para fazer com que o planeta continue habitável face ao pernicioso efeito estufa, (QUEIROZ & BARRICHELO, 2007).

Os mesmos autores comentaram ainda que acusado injustamente de “estragar” a terra, de consumir água em excesso, de gerar um deserto verde, o eucalipto na realidade é um aliado na preservação das matas nativas. Os 30 milhões de metros cúbicos de madeira de eucaliptos que o Brasil utiliza a cada ano, teriam que ser extraído da Floresta Atlântica, da Floresta Amazônica, no Cerrado ou então com madeira importada, não fossem as florestas cultivadas.

As florestas plantadas de eucaliptos têm possibilitado um efeito multiplicador no panorama nacional, quando se verifica que cerca de 2,4 milhões de pessoas, em mais de 742 municípios, vivem com base econômica no cultivo do eucalipto, e considerando ainda o efeito renda, 4,3 milhões de brasileiros têm nesta cadeia o seu sustento. Apesar desta imensa importância no cenário nacional, o plantio deste gênero ainda continua sendo alvo de críticas, na maioria das vezes fruto de uma visão errônea do assunto.

De acordo com Queiroz & Barrichelo (2007) os paradigmas criados sobre o eucalipto não se consolidam, ele não resseca a terra nem é um grande consumidor de água, com suas raízes que se aprofundam só 2,5 metros e não chegam ao lençol freático, quando adulto consome aproximadamente 15 litros de água por dia no verão e 3 a 4 nos meses de inverno, muito menos do que madeiras nativas como a *Cedrella fissilis* (cedro) e tem o mesmo consumo do jacarandá. É falso acusar o

eucalipto de formar “deserto verde”, pois só de aves, 300 espécies se alimentam, procriam e nidificam nos eucaliptais, conforme biólogos que estudaram separadamente grandes plantios de eucaliptos na Bahia, Espírito Santo e São Paulo.

Os mesmos autores afirmam que também não procede a afirmação que o eucalipto estraga a terra, pelo contrário, é recomendado para recuperar solos erodidos, degradados e cansados como os de campos e pastos que perderam há muito tempo sua cobertura vegetal. Uma vez feito o plantio de eucalipto, este sustenta por anos ininterruptos o cultivo. É falso acusar o eucalipto de desempregar mão-de-obra, na medida em que seus povoamentos respondem hoje por 2,5 milhões de empregos diretos no Brasil, e 5 milhões indiretos, assim como não procede a acusação de alelopatia, uma vez que a grande maioria dos plantios de eucaliptos no país está sendo feita sobre a forma de cultivo mínimo, onde não limpa o terreno antes da instalação da floresta e no sub-bosque formado à sombra dos eucaliptais já foram identificadas cerca de cem espécies nativas.

Segundo ainda Queiroz & Barrichelo (2007), curiosamente, ninguém atacou o eucalipto, enquanto o Brasil não incomodava os produtores mundiais de celulose. À medida que as florestas do hemisfério Norte, que levam 70 anos para chegar ao ponto de serem cortadas, começaram a ser substituídas por eucaliptais brasileiros, que levam apenas 6 anos para chegar à colheita. A partir daí surgiram, os ecologistas orquestrados, querendo acabar com os plantios de eucaliptos no Brasil.

1.2 O Melhoramento Genético do Eucalipto

Segundo Gonçalves (1982), os programas de melhoramento são, comumente, desenvolvidos em ciclos repetidos de seleção e recombinação. As estratégias de melhoramento estabelecem como estes ciclos serão organizados para produzir materiais geneticamente melhorados a serem utilizados nos plantios comerciais. A estrutura básica de uma estratégia de melhoramento é composta da população base, da população de melhoramento, dos métodos que buscam avaliar e selecionar árvores geneticamente superiores, dos métodos a serem utilizados na recombinação destas árvores, visando regenerar populações de melhoramento, que serão

submetidas a novos ciclos de seleção e dos métodos de multiplicação para prover material genético melhorado em quantidade para plantios comerciais.

A população base tem importância fundamental para a sobrevivência do programa a longo prazo. Ela deve ser de uma espécie adequada aos objetivos do empreendimento, deve também ser constituída das melhores procedências e ter uma base genética ampla para propiciar a obtenção de ganhos de forma contínua.

O melhoramento constitui o conjunto de plantas que o melhorista manipula para promover o melhoramento genético. Normalmente, o melhorista vive o dilema de obter ganhos em curto prazo, reduzindo a base genética e, ao mesmo tempo, deve manter a variabilidade para promover ganhos continuamente em gerações avançadas.

Nenhuma estratégia de melhoramento é adequada para todas as situações. Deve se ter em mente que a escolha da melhor estratégia é condicionada por uma série de fatores, entre os quais citam-se a dimensão do empreendimento, recursos disponíveis, objetivos do programa, aspectos biológicos da espécie etc. Em certos casos o empreendimento não comporta a adoção de programas complexos e deve se utilizar estratégias mais simples. De acordo com Assis (1997), um bom programa deve permitir a manutenção da variabilidade em longo prazo, tão grande quanto possível, sacrificando o mínimo de resultados de curto prazo.

1.3 A Clonagem do Eucalipto

A necessidade de obter florestas cada vez mais produtivas, com madeira de alta densidade, baixos teores de extrativos e outras características que se correlacionam positivamente com a qualidade do produto final, tem levado as empresas brasileiras a investimentos cada vez maiores em programas de melhoramento genético, com a utilização de técnicas como a hibridação e a clonagem.

A clonagem é considerada, mundialmente, como a maneira mais eficiente de se produzir madeira em qualidade e quantidade exigidas pelo mercado. Possibilita a produção em massa de madeira com características previamente selecionadas e assegura maior rendimento no processo de produção em todas as suas etapas.

Além disso, pode-se obter ganhos expressivos na qualidade do produto final por causa da maior homogeneidade da matéria-prima.

Existem diversas especulações a respeito deste assunto, mas de acordo com Gonçalves (1982), a clonagem do eucalipto iniciou-se em 1975 na República Popular do Congo e foram introduzidos no Brasil ainda na década de 1970 que proporcionaram, dentre outras vantagens, a transferência de características genéticas pouco herdáveis, como o incremento em volume e o rendimento em celulose, possibilitando grandes avanços nos programas de melhoramento genético.

Alfenas (2004) afirmou que a árvore mais plantada do mundo é o eucalipto, com mais de 18 milhões de hectares e o Brasil aparece como o segundo maior plantador do gênero, com cerca de aproximadamente três milhões e quinhentos mil hectares, perdendo apenas para a Índia, que apresenta uma área territorial plantada de aproximadamente oito milhões de hectares.

O mesmo mencionou que no Brasil a cultura é baseada principalmente em florestas clonais advindas de materiais-elite e de elevada produtividade média, podendo chegar a valores de incremento entre 45-60 m³/ha/ano.

As primeiras iniciativas de clonagem de eucaliptos foram constatadas no século passado, com a presença de pesquisadores australianos e franceses no Marrocos e no norte da África. Em 1950 um engenheiro florestal francês descobriu, casualmente, a possibilidade de propagação de materiais juvenis de eucaliptos por estaquia, (ALFENAS, 2004).

Porém foi no início da década de 70 que as tentativas de clonagem de árvores adultas foram bem sucedidas na República do Congo, sendo essa pioneira e foi nessa mesma época que essa técnica foi introduzida no Brasil. Desde sua introdução no país a propagação clonal vem sofrendo grandes avanços, principalmente quanto ao método de produção e colheita, visando a diminuição dos gastos silviculturais, doenças e pragas, facilidade na colheita e principalmente um aumento significativo no volume de madeira comercial, sendo esse um bem necessário que todas grandes empresas juntamente com pequenos e grandes extensionistas florestais querem. Mas é sabido que as plantações de clones estão sujeitas ao ataque de pragas e doenças invasoras podendo até mesmo se dizimar, pois essas perdem variabilidades gênicas e ficam todos os indivíduos com o mesmo material genético.

1.4 Sítio Florestal

Uma das atividades básicas e de grande importância na formação de povoamentos florestais é a determinação das unidades de produção que podem ser definidas através de vários procedimentos, sendo um dos métodos a classificação de sítios florestais. Esta prática permite avaliar a capacidade produtiva de uma determinada área, correlacionando-a com a espécie ou espécies que nela se deseja produzir. Desta forma, grande parte das decisões tomadas no manejo florestal tem base na classificação de sítios.

Segundo Prodan (1997), a qualidade do sítio define a capacidade de uma espécie se desenvolver em um determinado local, levando em consideração as totais condições ambientais do determinado lugar.

Sempre que se pretende implantar, numa determinada região, um empreendimento florestal é necessário ter um amplo conhecimento da espécie a ser introduzida, bem como do potencial produtivo do local. Da mesma forma, é muito importante ter conhecimentos sobre a qualidade dos sítios florestais, pois dele depende a quantidade e qualidade da produção, juntamente com a adaptabilidade da espécie ou espécies aos determinados locais.

A tipificação da classificação de sítio se constitui numa forma de estratificação do povoamento em entidades ecológicas com base nas características da vegetação, ou em fatores do meio, ou numa combinação desses. De acordo com Caldeira (1996), A Sociedade Americana de Florestas define a qualidade do sítio como sendo “uma área considerada segundo seus fatores ecológicos em relação a sua capacidade de produzir povoamentos ou outra vegetação, sob a combinação de condições biológicas, climáticas e edáficas .

Para Spurr (1952), a qualidade do sítio é a soma total dos fatores edáficos, biológicos e climáticos que afetam as plantas, em que o sítio não é um fator, nem todos os fatores, mas a soma dos fatores efetivos entre os quais um ou mais são dominantes.

Pode-se dizer que a qualidade do sítio é a soma total dos fatores edáficos, biológicos e climáticos que afetam a planta ou as plantas. A qualidade do sítio é dinâmica e, freqüentemente, ao longo do tempo alguns de seus fatores do mesmo podem ser influenciados pelo silvicultor. É sabido que o crescimento das árvores não é indiferente a qualquer tipo de solo. As plantas em qualquer local devem encontrar

condições ótimas para o seu desenvolvimento, principalmente nos primeiros anos que são os mais críticos e decisivos para o seu bom crescimento.

A determinação da produtividade dos sítios florestais é fator básico, na condução de povoamentos e no planejamento da produção madeireira de uma empresa florestal. Numa floresta ou bosque, uma árvore é influenciada pelos fatores genéticos integrados com o meio ambiente, o qual compreende os fatores climáticos, solo, topográficos e a competição com outros vegetais. A interação de todos estes fatores sobre a planta expressa a qualidade do sítio sendo que se as condições de crescimento são boas o sítio, é considerado bom e vice-versa.

Entretanto, um sítio pode ser bom para uma determinada espécie e ser ruim para outra, sendo, por isso, a qualidade do sítio definida individualmente para cada espécie. Dentro deste contexto, são vários os métodos utilizados para a classificação de sítio florestal, entretanto, aquele que emprega a altura das árvores dominantes é considerado o mais prático e usual.

Devido as árvores apresentarem taxas de crescimento diferenciada ao longo do tempo, variando de acordo com o ambiente e intervenções humanas, é possível construir os fundamentos matemáticos para estimar o crescimento das árvores em determinado sítio. Esta descrição do crescimento pode ser feita, em geral, com uma função apropriada, empregando técnicas de regressão múltipla ou não linear.

No entanto, quando se expressa o crescimento, por meio de funções matemáticas, é de vital importância analisar como é a forma de crescimento de árvores de locais diferentes, ou seja, se elas crescem segundo o mesmo padrão ou não. A ocorrência de diferenciação no crescimento da altura em diferentes sítios, para uma mesma espécie, é denominada polimorfismo entre as formas de crescimento, mostrando a necessidade de ajustar funções individuais para estes locais, o que resulta em maior precisão na descrição dos sítios, Finger (1992).

Quanto ao estudo dos sítios florestais pode-se dizer que, em nosso País, poucos são os estudos pertinentes a esta área e apenas algumas empresas possuem suas florestas mapeadas, em termos de capacidade de produção. A determinação da produtividade florestal é um recurso básico quando o objetivo é dispor e aplicar um sistema integrado de manejo, visando a racionalização e otimização do uso dos recursos florestais. Assim, a classificação eficiente de sítio é o fundamento para a determinação e planejamento da produção, pois as tabelas de produção e sortimento são construídas com base nos índices de sítio.

Prodan (1997) afirmou que a produtividade biológica não pode ser expressa matematicamente, por isso se opta em representar a qualidade do sítio através de um valor índice denominado índice de sítio, ou índice de produtividade, ambos muito conhecidos porque são uma expressão quantitativa da qualidade do sítio.

De uma maneira geral Scolforo (1997) mencionou que os métodos para predizerem o crescimento de florestas podem ser classificados em diretos e indiretos. Os métodos diretos avaliam a qualidade do sítio a partir de atributos do ambiente, levando em consideração características, como o clima, solo e vegetação. Os indiretos por sua vez utilizam-se indicadores na própria vegetação, que refletem as interações de todos estes fatores do próprio sítio.

A grande maioria das avaliações do potencial dos sítios segue o caminho dos métodos indiretos, ou seja, estima a qualidade do sítio por meio de parâmetros obtidos na própria vegetação, que por sua vez já explicam a combinação dos fatores edafoclimáticos. Segundo Scolforo (1997), na utilização dos métodos indiretos a mensuração das árvores, numa determinada idade, tem se apresentado como o atributo mais estável e de fácil aplicação. Estudos mostram que para um grande número de espécies e em muitos locais, o crescimento em altura está fortemente correlacionado com o crescimento em volume.

Dentre os parâmetros da vegetação, a altura das árvores dominantes é a variável dendrométrica que melhor expressa os pré-requisitos para uma boa classificação de sítio, devido sua fácil obtenção no campo, é a variável que sofre menor influência dos tratamentos silviculturais e apresenta alta correlação com a variável volume. Sendo assim, a média das árvores dominantes na idade de referência vem sendo universalmente o atributo mais utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais.

Porém, vale ressaltar que o crescimento em altura das árvores é um processo dinâmico, em que mudanças no solo ou outras condições ambientais acarretam variações no crescimento em altura durante a vida das árvores, sendo o índice de sítio uma medição do resultado cumulativo dessas condições de crescimento em uma idade índice.

Sob este ponto de vista, Tonini *et al* (2002) comentaram não ser surpresa que os parâmetros ambientais, em um dado ponto no tempo, não sejam capazes de fazer previsões aceitáveis, sendo necessário, por conseqüência incluir medições dinâmicas nos modelos.

Segundo Sanquetta (1996), um modelo é a representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais. No entanto, os modelos apresentam limitações por não serem o próprio objeto ou a entidade, mas uma simplificação ou representação, não sendo, portanto, perfeitos, podendo ser apenas uma representação bem-feita ou não da realidade.

Mesmo assim os modelos são os procedimentos mais utilizados para realizarem as classificações dos sítios florestais, uma vez que apresentam certa agilidade, praticidade e quando se tem uma base de dados sólida e consciente é possível chegar a resultados bastante confiáveis, permitindo, assim, a realização dos estudos de produção e crescimento.

Segundo Scolforo (1997) e Figueiredo (2005), os métodos que se baseiam na altura para classificação de sítios usam as curvas de índice de sítio. O índice de sítio expressa em termos médios a altura das árvores dominantes numa idade pré-estabelecida, como sendo idade de referência, a qual deve ser a mais próxima possível da idade de rotação.

Para Girardin e Broquen (1995), os povoamentos que utilizam a altura dominante como indicadora das condições de sítio, devem atender aos seguintes pré-requisitos:

- A população a ser amostrada não deve encontrar-se no estado juvenil de crescimento, pois, nesse estágio, o crescimento é muito variável e pode ser afetado por outros fatores que não a qualidade do sítio;
- As densidades não devem ser extremas, devendo estar entre 900 e 2500 árvores por hectare, de forma a não afetar a altura dominante;
- Práticas silviculturais que tenham removido árvores dominantes não devem ter sido realizadas, e
- O estado sanitário deve ser bom, e as árvores dominantes não podem ter sofrido danos severos.

Autores como Barros *et al.* (1986), Avery e Burkhart (1994) fizeram algumas críticas ao método do índice de sítio. Eles afirmaram que a correlação entre o crescimento em volume e o crescimento em altura não é perfeita e citaram o trabalho de Mader em 1963 que verificou que o crescimento em altura apresentou melhor correlação com fatores de sítio diferentes dos que melhor se correlacionaram com crescimento volumétrico.

Sendo assim o índice de sítio mede indiretamente a produtividade em termos de volume de madeira, o que restringe o conceito de qualidade do sítio, pois esta não é correlacionada com a produção de outros produtos florestais. A densidade e a supressão podem influenciar o índice de sítio, e a introdução de árvores geneticamente superiores torna obsoleta a determinação da qualidade do sítio baseada no índice de sítio pré-existente.

Para Barros *et al.* (1986), o poder de predição da produtividade do índice de sítio é bastante baixo, por ser um método desenvolvido e aplicado inicialmente em regiões onde os sítios apresentavam maior potencial para a manutenção da produtividade, onde o manejo florestal não é tão intensivo quanto no Brasil com solos de baixa fertilidade natural e onde uma porção considerável dos nutrientes está imobilizada na biomassa.

Avery e Burkhart (1994) afirmaram que o índice de sítio não é uma constante, mudando periodicamente em consequência de variações ambientais e climáticas. O seu valor para uma determinada espécie não pode ser utilizado para diferentes espécies no mesmo sítio. Outras limitações descritas pelos autores são a dificuldade em se determinar a idade exata de um povoamento, a sua impropriedade para florestas naturais, a não consideração dos efeitos da densidade do povoamento pela seleção de árvores em povoamentos bem estocados que não tenham sido afetados pela supressão passada e o fato de não serem consideradas outras variáveis associadas ao volume do povoamento como o DAP e a forma do tronco.

Em consequência da compensação ecológica, em que diferentes combinações de fatores ambientais podem resultar em efeitos similares no crescimento das árvores, alguns problemas no uso de curvas de índice de sítio podem ser encontrados. Uma determinada espécie pode ter o mesmo índice de sítio em locais úmidos e ricos em nutrientes e em locais secos e pobres em nutrientes, sendo que esses dois sítios podem necessitar de diferentes práticas de manejo com o objetivo de produzir madeira de grandes dimensões.

No entanto, Cunha Neto *et al.* (1994), mencionaram que apesar de algumas limitações, o índice de sítio é o método mais utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais e, assim, o será até que métodos que conjuguem a soma de vários fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica, acessível aos usuários do setor.

1.4.1 Altura das Árvores Dominantes

A altura dominante é a variável dendrométrica que melhor se enquadra aos requisitos propostos por Burger (1976), para determinar a qualidade do sítio florestal, que são: facilidade de determinação a campo; boa correlação com a produção volumétrica; indica a qualidade do sítio para todas as idades do povoamento e independência da densidade do povoamento.

Segundo Machado & Figueiredo Filho (2006), ultimamente a altura dominante tem sido bastante usada, para a classificação dos sítios florestais, por ser a variável que sofre menor influência em resposta aos tratamentos silviculturais, apresentando assim uma resposta que melhor expressa a qualidade do local além de existir uma boa correlação com a produção total do volume no povoamento.

Os mesmos autores afirmaram que o conceito de altura dominante pode ser visto de diferentes maneiras. Scolforo (1997) citou vários conceitos sobre a definição de árvores dominantes, tais como:

- Altura das 100 árvores mais grossas por hectare (Assmann)
- Altura média das 100 árvores mais altas por hectare (Hart);
- Altura média das árvores com DAP (Diâmetro há altura do peito) maior ou igual a $\bar{D} + 1,5$, desvio padrão (Naslund);
- Altura média correspondente ao DAP médio de 20% das árvores mais grossas do povoamento (Weise);
- Altura média das 30 árvores mais altas do povoamento (Lewis).

Machado & Figueiredo Filho (2006) afirmaram que atualmente é quase consensual definir altura dominante como sendo a altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare e, como se trabalha com parcelas de áreas conhecidas, o número de árvores medidas para calcular a altura dominante é proporcional a área das unidades amostrais utilizadas.

1.4.2 Dados Para Construção das Curvas de Índice de Sítio.

Campos & Leite (2006) mencionaram que as curvas de índice de sítio podem ser construídas utilizando-se dados de altura dominante e idade, obtidos a partir de

parcelas temporárias, parcelas permanentes, e de análise completa do tronco (ANATRO).

As parcelas temporárias constituem uma base de dados importante e muito utilizada em locais onde não existem dados de parcelas permanentes, ou as árvores não apresentam confiabilidade nos anéis de crescimento. Têm como uma grande vantagem a utilizações de informações de pares de altura sobre idade oriunda de inventários convencionais, em um espaço de tempo relativamente curto e a custo mais baixo quando comparados com os outros procedimentos.

Scolforo (1997) afirmou que a construção de índice de sítio a partir de parcelas temporárias, implica em uma grande intensidade amostral, já que apenas um par de altura-idade é obtido por parcela. O mesmo autor mencionou o fato que do ponto de vista estatístico as parcelas temporárias não tem erros correlatos, uma vez que a cada amostragem novas parcelas são lançadas independentemente.

Segundo Prodan (1997), quando se utiliza as parcelas temporárias, só pode utilizar o princípio da curva anamórfica, valendo-se do princípio que a tendência do crescimento em altura é igual para todos locais, tendo uma distância entre curvas idêntica; e para uma relativa eficácia deste procedimento são necessárias no mínimo 100 parcelas, aplicando o método da curva guia, mas, mesmo assim, tem o grande inconveniente de não apresentar o conhecimento do real padrão de crescimento individual em altura das árvores.

Devido este inconveniente, Campos & Leite (2006) sugerem que quando possível a utilização de dados de parcelas temporárias para a construção de curvas de sítio deve ser evitada, já que resulta em classificação eficiente somente com aceitação da hipótese de que todos os índices de local estejam representados em todas as classes de idade da população. Se essa hipótese não é verdadeira, a classificação pode ser tendenciosa.

Sendo assim, uma alternativa eficaz consiste na utilização de parcelas permanentes, geralmente advindas dos inventários contínuos, onde as árvores dominantes são identificadas e marcadas e remedidas temporalmente. Segundo Campos & Leite (2006), mesmo neste caso, é importante garantir que todas as classes produtivas do povoamento florestal estejam representadas.

Scolforo (1997) afirmou que pares de informações de altura dominante e idades oriundas de parcelas permanentes são as fontes de dados desejáveis para a construção de curvas de índice de sítio, podendo ser utilizadas para construção de

curvas anamórficas e principalmente de curvas polimórficas, uma vez que fornecem elementos sobre o crescimento das árvores individuais ao longo do tempo.

Segundo o mesmo autor, um grande inconveniente da utilização de dados de parcelas permanentes é o tempo demorado e até mesmo oneroso de se os obter, já que necessita de uma série de dados periódicos. Do ponto de vista estatístico, as medições repetidas em árvores individuais contêm erros correlatos. Entretanto, na prática eles são ignorados, quando se utiliza o método dos mínimos quadrados ordinários.

Dados advindos de análise de tronco também são eficientes para o propósito de classificação de sítios e se equiparam aos dados de parcelas permanentes, podendo ser coletados em um tempo muito mais curto. Essa técnica é possível segundo Scolforo (1997), pelo fato que o crescimento em diâmetros das árvores se dá através da superposição de camadas de madeira. Se a árvore está situada numa região onde existem grandes diferenças climáticas, então, o crescimento em um ano é facilmente identificado, uma vez que existe duas diferentes fases de crescimento no decorrer do ano.

A primeira camada de tecidos é menos densa e corresponde ao período de altas temperaturas e boa disponibilidade hídrica. Esta camada assume uma coloração mais clara, denominada de lenho inicial ou primaveril. A segunda camada de tecidos corresponde a fase de diminuição do crescimento da árvore, culminando com os meses de temperaturas baixas e de pouca precipitação pluviométrica, tendo como característica no tecido vegetal uma coloração mais escura, com maior densidade de células, denominados de lenho tardio, outonal, ou estival (FIGUEIREDO, 2005).

A principal técnica para avaliar o crescimento de anéis de crescimento é a análise de tronco. A técnica possibilita verificar como uma árvore cresce, em todos seus aspectos dendrométricos, e como ela muda de forma à medida que aumenta em volume.

Ao se utilizar a técnica de análise de tronco, deve-se ter bastante cuidado quanto a formação dos anéis de crescimento, pois é possível ocorrer a formação de falsos anéis, em decorrência de uma redução expressiva do crescimento no próprio período de maior crescimento, ou ao contrário, pode ter um crescimento significativo durante o período de menor crescimento. Neste caso deve-se ter grande atenção na

sua identificação, pois estes anéis não se completam ao longo da seção, e muitas vezes podem ser identificados pela ANATRO.

A existência dos anéis de crescimento tem sido verificada há muito tempo, desde as primeiras observações feitas na Grécia Antiga. Leonardo da Vinci, no século XVI, reconheceu em árvores de Pinus, na Toscana, Itália, a relação entre os anéis de crescimento e o clima, mencionando que os anéis de crescimento mostram números de anos das árvores de acordo com sua espessura, os anos mais e menos secos.

Análise de tronco completa possibilita, além da identificação da idade da árvore, reconstituir o desenvolvimento em diâmetro e da área seccional em diferentes alturas, a altura da árvore nas diferentes idades, o volume e o fator de forma. Porém, é importante salientar que o uso da análise de tronco é possível, quando a espécie apresenta nitidez na formação de seus anéis de crescimento, geralmente sendo uma técnica mais utilizada nas espécies de coníferas.

Como em todo procedimento de coleta de dados, a amostragem deve ser uma ampla faixa geográfica, representando todas as possíveis faixas de sítios, onde as árvores a serem amostradas devem ter as mais diferentes idades.

As principais vantagens das curvas de índice de sítio, construídas quando possível e de forma precisa de dados provenientes da análise de tronco, é que elas possibilitam identificar facilmente formas polimórficas se elas existirem.

1.4.3 Tipos de Curvas de Índice de Sítio

Os índices de sítio são obtidos geralmente a partir de equações ajustadas pelo método de regressão. De acordo com Prodan *et al.* (1997), as curvas de índice de sítio podem ser anamórficas ou polimórficas, o que dependerá do método de análise e da base de dados utilizada para o ajuste.

As curvas de sítios anamórficas, caracterizam-se por apresentar a mesma forma e guardar a mesma proporção para as diferentes classes de sítio. Figueiredo (2005) mencionou que as curvas anamórficas são caracterizadas por guardarem uma mesma relação de distância entre as curvas da mesma família (Figura 1.1), significando que os coeficientes que representam a inclinação da curva (β_1 ou β_2 , conforme o modelo) são constantes para todas as curvas de sítio e, conseqüentemente, o ponto de inflexão é o mesmo para a família de curvas. A

oscilação dos valores da constante (β_0) somente ocorre em relação ao ponto de intersecção (SCOLFORO 1997; CAMPOS & LEITE 2006).

Segundo Scolforo (1997), anamorfismo das curvas de sítio pode ser identificado a partir de:

- Verificação do coeficiente de variação (CV) das alturas médias das árvores dominantes por classe de sítio e idade, já que uma das suposições básicas do anamorfismo é que este valor seja semelhante em todas as idades nas classes de sítio;
- Verificação da existência de relação linear entre índice de sítio e as alturas dominantes médias nas várias idades consideradas, expressando que o índice de sítio não depende da idade, mais sim da capacidade produtiva do local.

Evidências tem sido acumuladas no sentido de que, curvas construídas de maneira anamórfica, frequentemente, não representam de forma acurada o crescimento do povoamento. Um segundo ponto é a suposição de que a forma da curva não varia de sítio para sítio mantendo proporcionalidade entre si.

Tonini *et al.* (2002), entre outros, afirmaram que assumir uma mesma forma de crescimento para todas as classes de sítio, nem sempre é verdadeiro e pode levar a erros de estimação, pois as árvores podem ter curvas de altura/idade bastante diferentes e mesmo assim atingir a mesma altura (e índice de sítio) na idade índice.

Segundo Scolforo (1997), um problema deste método é que a proporcionalidade entre as curvas de índice de sítio é uma falha, e que em sítios mais produtivos, a curva de crescimento em altura tende a ter forma sigmóide mais pronunciada. Já em sítios menos produtivos, o padrão de crescimento da altura tende a ser mais suave, ou seja, o ponto de inflexão é atingido mais tarde que os dos sítios mais produtivos. Entretanto, este procedimento é de grande valia para a classificação da produtividade em grandes regiões e mesmo em regiões menores em que o banco de dados advém de medições em parcelas temporárias.

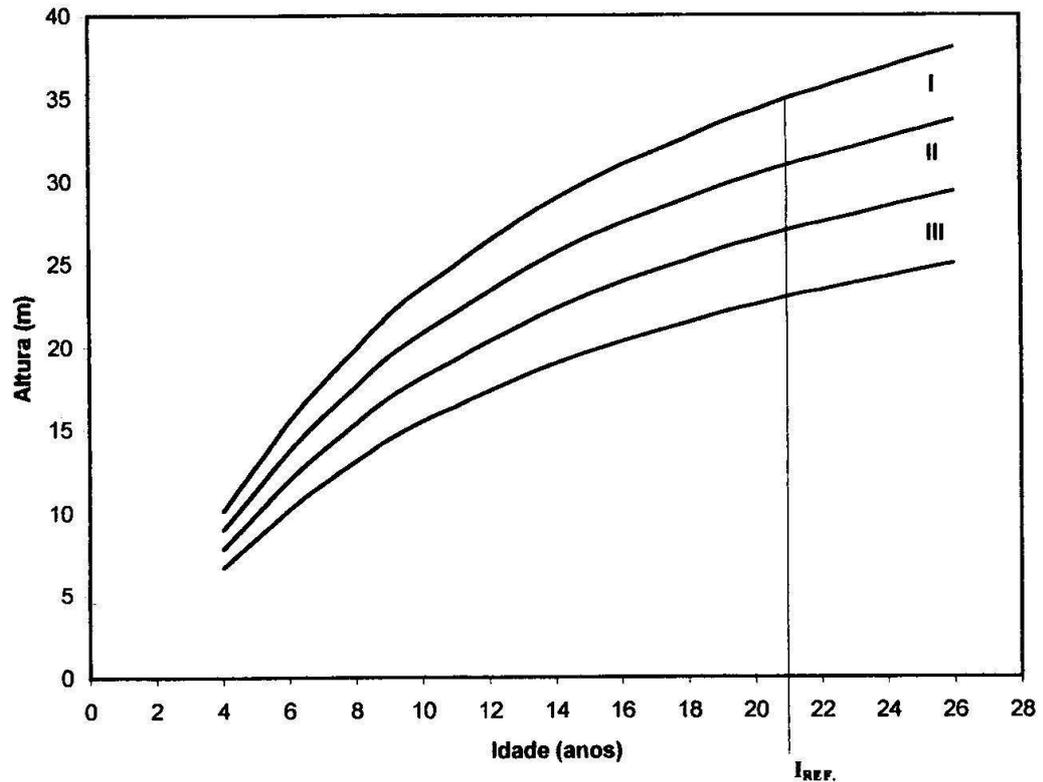


FIGURA 1.1- CURVAS ANAMÓRFICAS DE ÍNDICE DE SÍTIO

As curvas polimórficas por sua vez, apresentam diferentes formas para cada classe de sítio e não guardam proporção nessas classes. Sendo assim, a taxa de crescimento relativa em altura é dependente dos fatores do sítio, sendo, então, desenvolvidas as curvas polimórficas para representá-las. E estas podem ser divididas em duas categorias:

- Curvas Polimórficas que não se cruzam: nesta família de curvas a relação de proporcionalidade entre as curvas de índice de sítio é verificada, entretanto estas curvas não se cruzam dentro da faixa de idade de interesse conforme pode - se observar na Figura 1.2

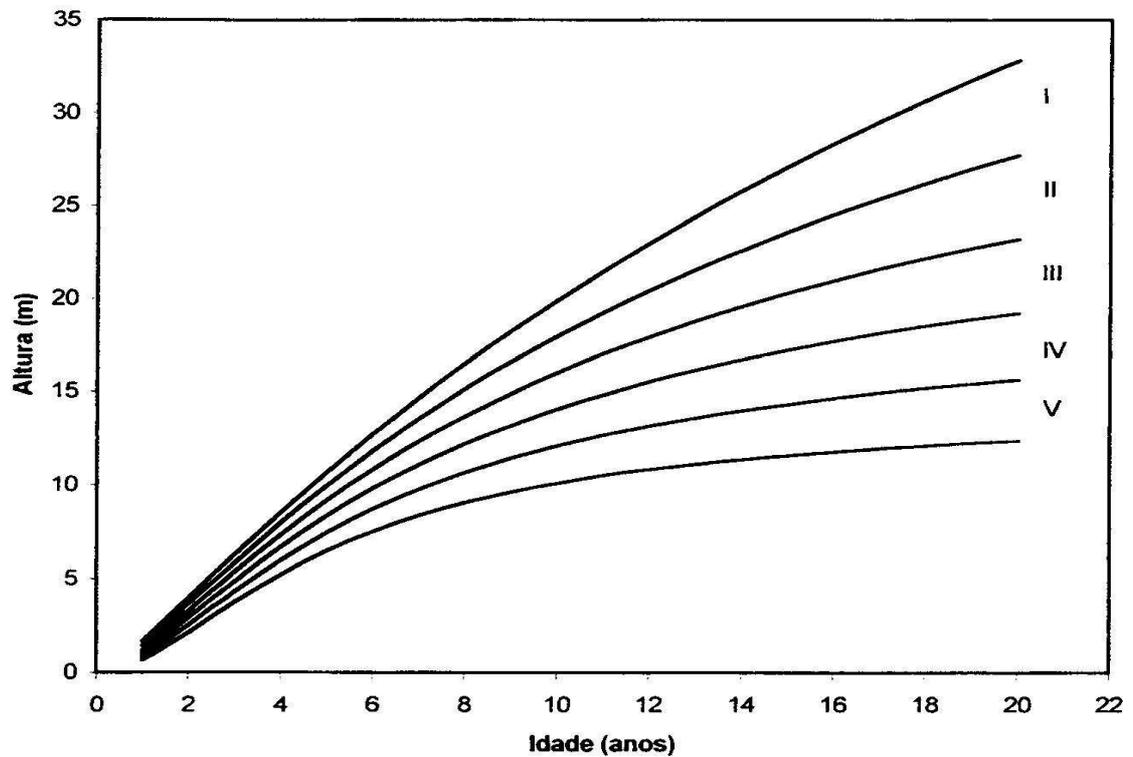


FIGURA 1.2 - CURVAS POLIMÓRFICAS QUE NÃO SE CRUZAM DENTRO DA FAIXA DE IDADE DE INTERESSE.

- Curvas Polimórficas que se cruzam: nesta família de curvas também não existe proporcionalidade no crescimento da altura entre as classes de sítio, entretanto as curvas que expressam o sítio se cruzam dentro da faixa de idade de interesse, conforme mostra a Figura 1.3

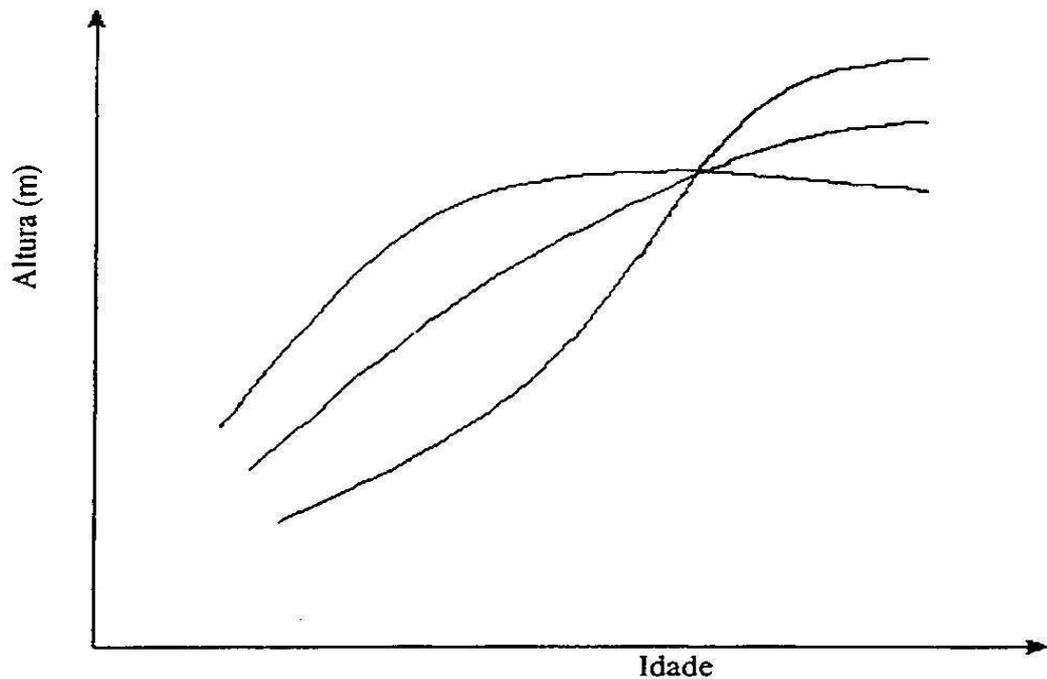


FIGURA 1.3 - CURVAS POLIMÓRFICAS QUE SE CRUZAM DENTRO DA FAIXA DE IDADE DE INTERESSE.

1.4.4 Principais Métodos Para Construção de Curvas de Índice de Sítio

Existe diferentes metodologias para a construção das curvas de índice de sítios. Prodan et al. (1997) e Campos & Leite (2006) citaram como as principais alternativas:

- Método da curva-guia ou curva-média;
- Método da diferença algébrica;
- Método de Hammer;
- Método das predições dos parâmetros; Método da atribuição preliminar de índices de local.

Porém, vale ressaltar que apesar da existência de todos estes métodos mencionados, existe uma certa predominância por parte dos manejadores florestais na utilização do método da curva guia (curvas anamórficas) e o método da diferença algébrica (curvas anamórficas e polimórficas).

1.4.5 Método da Curva Guia ou Curva Média

Scolforo (1997) comentou que esta técnica passou a ser utilizada no final da década de 30, com a introdução das técnicas de regressões lineares múltiplas no meio florestal.

As curvas são construídas mediante a seleção de um modelo de regressão utilizando variáveis do povoamento como altura dominante e idade, conforme diversos trabalhos realizados no meio florestal, dentre os quais pode-se citar Scolforo (1997); Campos & Leite (2006).

Uma vez definida as estatísticas dos parâmetros do modelo, será escolhida a equação que representa a curva do índice de local médio. Esta curva é denominada de curva-guia, ou curva-média, representando a estimativa do crescimento médio ao longo do tempo.

Segundo Figueiredo (2005), com base na equação representante da curva-guia, uma equação de índices de sítio é gerada quando se considera a idade (I) do povoamento igual a idade de referência (I_{ref}) e a altura dominante igual ao índice de sítio ($H_{dom} = S$ e $I = I_{ref}$). Trabalhando a equação isola-se β_0 e obtém-se a altura dominante (H_{dom}) para cada sítio na idade de referência (I_{ref}), dessa forma obtém-se as curvas anamórficas.

Para definir as classes de sítios e seus respectivos índices, inicialmente define-se a idade de referência, em seguida é calculado, por meio da equação ajustada, o índice de sítio na idade de referência.

O índice de sítio na idade de referência é a altura média das árvores dominantes e por convenção é adotado o valor central da classe média. A construção das demais classes ocorre com a subtração e adição de um valor "X" ao valor central, delimitando, desse modo, a amplitude de cada classe. Assim o procedimento é repetido sucessivamente até se obter todas as classes que englobam os valores observados.

Para construção das curvas de sítios são calculados fatores de classes dividindo-se os valores inferiores e superiores de cada classe pelo valor do índice de sítio na idade de referência.

Os fatores de classe têm a função de construir a curva de classe de sítio, pois esta estabelece uma relação entre os valores inferior e superior de cada classe com o valor estimado na idade de referência definida para cada modelo que for testado. Esta oferece um coeficiente que será multiplicado pela altura dominante estimada em cada idade de observação, construindo-se uma das linhas limites da classe de sítio, cujo procedimento é feito para cada altura dominante e em cada idade, considerando as classes de sítio.

1.4.6 Método da Diferença Algébrica

Segundo Scolforo (1997), este método pode ser aplicado a partir de qualquer modelo que retrata a relação altura-idade, tanto para produzir conjuntos de curvas anamórficas, como polimórficas. Entretanto, é necessário que se tenha dados advindos de parcelas permanentes, de análise de tronco, ou de um grande número de parcelas temporárias.

De acordo com Prodan *et al.* (1997) o pressuposto básico deste método é que todo par de observações se aplica à mesma relação altura-idade. Dessa forma empregando pares consecutivos de idade e altura dominante, os modelos são ajustados.

Uma das vantagens deste procedimento é a obtenção de curvas de índice de sítio polimórficas ou anamórficas, independente da escolha da idade de referência, além da altura na idade referência ser igual ao índice de sítio, não necessitando de qualquer ajuste ou correção, quando curvas polimórficas estiverem sendo geradas (SCOLFORO, 1997).

O método da diferença algébrica, foi proposto inicialmente por Bailey & Clutter (1974), para o desenvolvimento de curvas de índice de sítio anamórficas ou polimórficas, invariantes em relação à idade de referência, na qual usa pares de medidas consecutivas da variável a ser estimada. O princípio do método é fundamentado no manuseio das equações, de maneira a trabalhar o parâmetro específico do sítio. De acordo com Campos & Leite (2006), os modelos não-lineares são mais frequentemente adotados.

1.5 Volume

1.5.1 Perfil ou Forma da Árvore

Segundo Machado & Figueiredo Filho (2006), estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, o principal objetivo dos levantamentos florestais, em se tratando de povoamentos destinados para fins comerciais.

Todas as árvores tem uma forma de fuste típica, que varia de espécie para espécie, porém depende do sítio, densidade de plantio, disponibilidade de água, fatores intrínsecos da espécie, conforme Prodan et al. (1997).

Segundo Gomes (1957), os troncos dos vegetais arbóreos apresentam formas muito variadas, portanto dominar com precisão requerida as questões que envolvem determinações diamétricas ou altura não é uma tarefa fácil. Mesmo fugindo da forma específica para se fixar na forma florestal, mais regular, que tornam as árvores vivendo em povoamentos clonais, encontra-se uma gama completa de formas de fustes e troncos, desde a perfeitamente assimilável a um tipo geométrico bem definido até aquelas formas irregulares que fogem a semelhante assimilação, dificultando, assim, a obtenção do volume.

Autores como Hush *et al.* (1982) concluíram basicamente que a forma do tronco pode ser geometricamente descrita como um neilóide na base, um parabolóide no meio e um cone na extremidade final, não sendo possível a determinação exata da transição de um sólido para outro sobre o mesmo tronco.

Em virtude dessas variações de forma, que podem sofrer influência de fatores genéticos, ambientais e dos tratos silviculturais, o cálculo de volume de uma árvore normalmente é feito a partir do somatório dos volumes de suas pequenas partes, visando diminuir os erros provenientes da alteração da forma. Segundo Finger (1992), o desenvolvimento de modelos volumétricos tem por objetivo utilizar recursos matemáticos para analisar cubagens de árvores, de modo que estas tenham suas formas naturais comparadas a sólidos geométricos de revolução para que seus volumes sejam determinados.

O mesmo autor afirma que tais sólidos são denominados “protótipos dendrométricos” ou sólidos padrões, sendo comparáveis com a forma do tronco ou parte dele, acrescentando que o estudo matemático dos volumes das árvores considera suas seções circulares, na qual os troncos sofrem uma rotação em torno

de seu eixo principal, originando os sólidos de revolução correspondente, que por sua vez, tem seu volume obtido através da integração da área basal sobre o comprimento total do tronco.

Segundo Scolforo *et al*, (1998), a forma da árvore pode ser definida como o afilamento natural que ocorre da base para o topo, na maioria das espécies florestais, sendo também denominada de conicidade, adelgaçamento e afilamento ou “taper”.

Gomes (1957) comentou que se fosse possível determinar o início e o fim de cada figura geométrica ao longo do tronco, bastaria aplicar fórmulas correspondentes aos vários sólidos geométricos ocorrentes ao longo do perfil do tronco e o volume real da árvore seria obtido. Porém, este processo é praticamente impossível, o que levou ao desenvolvimento de fórmulas para fazer a cubagem de fustes de árvores, dita cubagem rigorosa.

1.5.2 Cubagem

Entende-se a cubagem como sendo a medição de sucessivos diâmetros ao longo do tronco da árvore. Segundo Belchior (1996), a cubagem é o método direto de estimativa do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções.

Gomes (1957), e a FAO¹ (1973), citada por Cabacinha (2003), mencionou que as medições devem ser feitas a 0,30; 1,30; 3,30; 5,30; e assim sucessivamente, de 2 em 2 metros, porém as distâncias entre medições diamétricas podem ser alteradas em função da forma e rigorosidade do processo de cubagem.

A cubagem deve ser realizada por classes de diâmetro e de altura. Nestas condições e dentro de tratamentos silviculturais semelhantes, espera-se que os indivíduos tenham formas semelhantes e constantes. Sendo assim, haverá uma constância nos volumes de todos os indivíduos pertencentes à mesma classe de altura e de diâmetro (GOMES, 1957).

¹ FAO AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Manual of forest inventory, with special reference to mixed tropical forest.** Roma, 1973. 200p.

Scolforo (1998) recomendou as seguintes posições para a mensuração de *Eucalyptus* sp. 0,05 m; 0,70 m; 1,30 m; 2,30 m e, a partir de então, em seções que podem variar entre 1 e 2 metros. As árvores podem ser mensuradas por meio de dois métodos de cubagem: absoluto e relativo.

Os métodos absolutos não apresentam vínculo com o comprimento do fuste. Nos métodos relativos, as posições de mensuração são tomadas de maneira a representar um percentual do comprimento total da árvore, possibilitando a confrontação e comparação dos volumes individuais de árvores de portes distintos, porém com a mesma forma.

Segundo Campos & Leite (2006), na mensuração das seções das árvores a serem cubadas, deve-se: medir sempre o DAP e a altura total; as seções devem iniciar o mais próximo possível do solo, normalmente em torno de 0,05; o comprimento das seções deve ser entre 1 e 2 metros, de maneira a controlar o efeito da conicidade do fuste e que as seções sejam regulares. Quando se pretende o volume total, a última seção (ponta da árvore) deve ser calculado como se fosse um cone e, quando se pretende obter o volume comercial, a última seção da árvore pode ter seu volume obtido pela fórmula normal selecionada.

Segundo Manassés & Peichl² (1986), citado por Cabacinha (2003) e Husch *et al.* (1982), o volume calculado pela fórmula de Huber, que mede apenas um diâmetro no centro da tora, é exato, quando a forma do tronco se aproxima de um cilindro. Contudo, se a forma do tronco for cônica ou tender a de um neilóide, os erros no cálculo do volume podem ser consideráveis.

Segundo Campos (1988), Prodan *et al.* (1997) e Scolforo (1998) a fórmula de Newton utilizada para cubagem rigorosa se destaca pela precisão proporcionada na determinação volumétrica, uma vez que se exige um maior número de medições de diâmetros numa determinada seção do tronco. Este mesmo autor menciona que, independentemente da fórmula utilizada para cálculo do volume, quanto menor for o comprimento da seção, maior precisão será obtida na determinação volumétrica.

Young *et al.*³ (1967), citados por Machado & Figueiredo Filho (2005), realizaram cubagem rigorosa em 465 toras de diferentes espécies e verificaram que

² MANASSÉS, J.P.; PEICHL, B. Medição da madeira e inventário florestal. Ln: **Manual do técnico florestal: apostila do Colégio Florestal de Irati**. Campo Largo: Ingra, 1986. v.3, p.88.

³ YOUNG, H.E.; ROBBINS, W.C.; WILSON, S. Errors in volume determination of primary forest products. In: Proceedings of 14th IUFRO Congress, Munich, September 4-9, 1967. Part VI. Sect. p. 546 -562.

os volumes obtidos, tanto pela fórmula de Huber, quanto pela fórmula de Smalian, apresentaram erros, quando comparados com os volumes determinados pelo xilômetro. Porém, observaram que os erros decorrentes do emprego da fórmula de Huber eram significativamente menores que erros originados pela fórmula de Smalian.

Apesar do xilômetro ser de grande utilidade e ser considerado o mais preciso, são raras as referências ao seu emprego na literatura especializada. Como ele não é produzido comercialmente, para sua utilização necessita-se construí-lo, aferi-lo e avaliar sua eficiência quanto à precisão e erros possíveis de serem cometidos.

Figueiredo Filho *et al.* (2000) utilizaram o xilômetro construído por Machado & Nadolny (1991) para testar a exatidão de três fórmulas tradicionais de cubagem (Smalian, Huber e Newton) e três métodos recentes (Spline Cúbica, Centróide e sobreposição de seções de Bailey). Além do volume total, os volumes comerciais para laminação, serraria e celulose foram também avaliados neste estudo. Depois de analisados os erros médios absolutos e em porcentagem, os autores concluíram que a fórmula de Huber é a mais exata dos seis procedimentos estudados e deve realmente ser usada em todas as circunstâncias.

Machado *et al.* (2006), comparando os métodos de cubagem de Huber Newton, Smalian e Centróide para diferentes classe diamétricas com o volume advindo do xilômetro para bracatinga, verificaram que todos os métodos de cubagem comparados apresentaram tendência a superestimar o volume verdadeiro. Entretanto pode-se afirmar que o melhor métodos de cubagem foi o de Huber, e o pior o de Smalian.

Segundo Machado & Figueiredo Filho (2006), no Brasil, a fórmula de Smalian tem sido tradicionalmente a mais usada nos levantamentos florestais, normalmente empregando-se seções curtas até 2 m de altura e seções de 1 ou 2 no restante do tronco, mais pela praticidade de emprego que por questões de acuracidade.

Os mesmos autores comentaram que, recentemente, o método relativo de Hohenadl com 10 ou mais seções tem ganhado espaço e tem sido preferido, principalmente quando a medição dos troncos tem como finalidade também o desenvolvimento de funções de afilamento. O uso de seções relativas além de evitar uma possível sistematização dos erros permite mais facilmente a comparação da forma de tronco com diferentes medições. No entanto, baseado em diversos

trabalhos realizados Machado e Figueiredo Filho (2006), recomendaram a utilização da fórmula de Huber para a maioria dos casos.

1.6 Funções de Volume ou Equações Volumétricas

As estimativas de volume podem ser realizados por meio de funções de volume de árvore, com modelos de simples, dupla e tripla entrada, e o procedimento pode seguir várias metodologias. A equação de volume para árvores individuais é a mais utilizada (SCOLFORO, 1998).

As estimativas de volume podem ser feitas a partir de varias metodologias; a equação de volume para árvores individuais é a mais utilizada. Pode-se também obter o volume dos fustes através de fatores de forma, métodos dos dois diâmetros e de uma relação hipsométrica associada a uma equação de volume, o que propicia estimativas precisas e com menores custos quando comparadas com as equações que têm como variáveis independentes o diâmetro e altura. Para volumes por unidade de área a equação do povoamento é uma boa opção. Já para estimar os múltiplos produtos ou os sortimentos, deve-se utilizar as funções de afilamento (FRANCO, 1996; PRODAN *ET AL.*, 1997; SCOLFORO 1998; CAMPOS E LEITE 2006).

Figueiredo (2005) mencionou que a escolha de equações é uma fase muito importante nos trabalhos relacionados á obtenção do volume dos maciços florestais, já que qualquer erro na sua predição pode levar a superestimativas ou subestimativas.

De acordo com Batista, Marquesini e Viana (2004), os modelos de equações de volume são tradicionalmente aplicados à árvores monopodiais, nas quais a maior parte do volume da madeira é constituída pelo seus, caules. Sendo assim, vários modelos de equações de volume foram propostos na literatura, para que, de uma forma ou outra, consiga descrever o mais próximo possível o fuste dos vegetais e assim, posteriormente, estimar com certa precisão seu volume.

Segundo Scolforo (1997), as equações volumétricas são divididas em:

- Equações de simples entrada: O diâmetro deve estar fortemente correlacionado com altura, ou seja, o diâmetro explica bem o desenvolvimento da altura. Na Tabela 1.1 pode-se observar os modelos de

simples entrada tradicionalmente mais utilizados para estimativa do volume de eucaliptos no País.

TABELA 1.1 - MODELOS VOLUMÉTRICOS DE SIMPLES ENTRADA.

AUTOR	MODELO
Kopezky-Gehardt	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$v = \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Berkhout	$v = \beta_0 d^{\beta_1} + \varepsilon$
Husch	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln d + \varepsilon$
Brenac	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln d + \beta_2 \frac{1}{d} + \varepsilon$

Onde:

v- volume em m³

d- diâmetro a altura do peito em cm

β ' s- coeficientes a serem estimados

Ln- logaritmo batural

ε - erro de estimativa

- Equações de dupla entrada: O volume é estimado em função do diâmetro e da altura. São recomendáveis quando existe uma maior heterogeneidade na relação altura-diâmetro. Neste caso, o diâmetro não está fortemente correlacionado com a altura, ou seja, o diâmetro não explica bem o desenvolvimento da altura. Na Tabela 1.2 pode-se observar os modelos de dupla entrada tradicionalmente mais utilizados para estimativa do volume de eucaliptos no Brasil.

TABELA 1.2 - MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA.

AUTOR	MODELO
Spurr	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$v = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} + \delta$
Honner	$v = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{h}} + \varepsilon$

Ogaya	$v = d^2(\beta_0 + \beta_1 h) + \varepsilon$
Stoate	$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h + \varepsilon$
Naslund	$v = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 dh^2 + \beta_4 h^2 + \varepsilon$
Takata	$v = \frac{d^2 h}{\beta_0 + \beta_1 d} + \varepsilon$
Spurr (log)	$Ln v = \beta_0 + \beta_1 Ln(d^2 h) + \varepsilon$
Meyer	$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$

Onde:

v- volume em m³;

d- diâmetro a altura do peito em cm;

Ln- logaritmo natural;

h- altura total em m.

β ' s- coeficientes a serem estimados;

- Equações de tripla entrada: O volume é estimado em função do diâmetro, da altura e de uma medida que expresse a forma da árvore. Este tipo de modelo não é recomendável, já que a forma da árvore é uma variável difícil de ser quantificada, e quando se faz cubagem, esta já é controlada. Por este motivo a variável forma usualmente não é significativa nos modelos, sendo pouco usual.

Às equações de dupla entrada são geralmente as mais utilizadas, onde se procura estimar a variável volume, em função do diâmetro e da altura.

1.7 Relações Hipsométricas

A altura é uma característica importante da árvore ou do povoamento, necessária para a determinação do volume. A altura de uma árvore pode ser entendida como o comprimento total em forma linear, desde sua base no solo, ao seu topo percorrendo toda extensão de seu fuste. De um modo geral a altura das árvores pode ser obtida através dos processos de medição direta, indireta e de estimativas.

As medidas diretas podem ser feitas tanto nas árvores em pé, como em árvores derrubadas nas quais o mensurador tem o contato direto com elas. No caso de árvore estar em pé esta medição pode ser realizada com varas graduadas encostadas nelas, ou com a subida do operador com uma trena na árvore. Em árvores abatidas se torna mais prático, pois facilita o trabalho do mensurador, pois bastando ele esticar uma trena ao longo de seu fuste.

As medidas indiretas são aquelas feitas sem que haja o contato direto do mensurador com a árvore. São medidas obtidas com certa distância, entre o operador e a árvore. Estas alturas podem ser obtidas por meio de aparelhos construídos baseando-se em princípios geométricos (relação entre triângulos semelhantes), e aparelhos baseados nos princípios trigonométricos (relação angulares de triângulos retângulos). Segundo Machado & Figueiredo Filho (2006), ao longo dos anos o método indireto de obtenção da variável altura das árvores tem sido o mais utilizado nos inventários florestais.

De acordo com Finger (1992), no inventário florestal, esta relação é usada para fornecer as alturas de árvores que tiveram apenas o diâmetro medido, e a partir de um ajuste de relação hipsométrica, é gerada uma equação matemática que estime a altura das demais árvores dentro das parcelas, que não foram medidas suas alturas em campo.

Segundo Scolforo (1997), a relação hipsométricas é uma opção de trabalho controvertida, mas de grande significado prático. É um aspecto importante a ser considerado no sistema de informações, à medida que é utilizada. Em populações que apresentam indivíduos com grande porte, a variável altura de todas as árvores é difícil de ser mensurada, pois leva muito tempo, tornando, assim, uma prática pouco recomendável, tornando as relações hipsométricas ferramentas de grande valia, para levantamentos florestais.

Segundo Franco (1996), a relação hipsométrica é uma opção para reduzir custos no inventário florestal. No entanto, é bom lembrar que a relação altura-diâmetro é afetada pela espécie, idade, sítio, densidade, posição sociológica e tamanho da copa, ensejando que os ajustes devam ser feitos por parcela com intuito de controlar as fontes de variação que afetam esta relação. Este mesmo autor verificou que o uso de relação hipsométrica associada a modelos volumétricos fornece estimativas confiáveis de volume.

Quanto maior for a uniformidade de um povoamento florestal, maior será a correlação entre diâmetro e altura e maior será o sucesso de utilização da relação hipsométrica, mas vale ressaltar que por mais uniforme que seja o povoamento, esta correlação será inferior à relação diâmetro e volume. De acordo com Scolforo (1997), de uma forma geral a correlação altura-diâmetro não é muito forte, por isso mesmo em povoamentos florestais não é comum esta correlação ser maior que 0,8. Por isso se faz necessário que se as ajuste por parcela, por sitio, por espaçamento, sempre para buscar melhores correlações entre o diâmetro e a altura.

A vantagem do uso das relações hipsométrica é que não precisa saber a idade das árvores, ou do povoamento, e tão pouco a qualidade de sítios. Assim como as equações de volume, se faz necessário também que ajuste várias relações hipsométricas para uma determinada base de dados, a fim de conseguir encontrar um modelo que consiga captar o máximo da relação diâmetro altura, e posteriormente estimar com certa precisão a altura das demais árvores do povoamento, no qual foi medido apenas o diâmetro.

Na Tabela 1.3, pode se observar os modelos hipsométricos tradicionalmente mais utilizados para estimativa da variável altura de eucaliptos no Brasil.

TABELA 1.3 - MODELOS DE RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA.

AUTOR	MODELO
Trorey	$h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$
Stoffels	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 Ln d + \varepsilon$
Curtis	$Ln h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$
Petterson	$h = \left(\frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d}} \right)^3 + \varepsilon$
Prodan	$h = \frac{d^2}{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2} + \varepsilon$

Onde:

d- diâmetro a altura do peito em cm;

Ln- logaritmo natural;

h- altura total em m.

β ' s- coeficientes a serem estimados;

Dentre os modelos citados na Tabela, diversos trabalhos realizados em povoamentos florestais mostraram uma superioridade do modelo de Prodan. Dimitrov & Vichev⁴ (1980) citado por Cabacinha (2003), testaram modelos para relação hipsométrica em povoamento de *Pinus sylvestris* e consideraram o modelo de Prodan como o mais adequado. Barros (2000), estudando o comportamento de modelos hipsométricos para plantação de *Pinus oocarpa*, considerou também este modelo o mais adequado para estimativa de altura. Miguel (2006) chegou ao mesmo resultado ajustando modelos hipsométricos para povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, na região de Aracruz no Espírito Santo.

1.8 Função de Afilamento

Existe certa consolidação pelos pesquisadores do meio florestal que o afilamento do fuste das árvores é o decréscimo natural do diâmetro ao longo do tronco e tem efeito direto no volume das árvores, sendo o seu conhecimento de fundamental importância em inventários florestais para a diversificação dos produtos madeiráveis. Os modelos de afilamentos são ferramentas valiosas para este fim, tendo em vista sua flexibilidade em estimar o diâmetro para qualquer altura do tronco, a altura comercial relativa a um diâmetro mínimo, bem como estimar o volume parcial ou total do fuste, via integração da área das seções do tronco.

Muitos pesquisadores têm procurado obter um modelo que descreva com precisão o perfil do fuste de árvores, na expectativa de estimar o diâmetro a qualquer altura ao longo do fuste e a altura até qualquer diâmetro especificado.

Segundo Scolforo (1997), os modelos chamados de funções de afilamento, ou de forma, ou “taper”, são uma maneira de se descrever matematicamente o perfil de um tronco. Para tanto, a seção transversal em qualquer posição no tronco é considerada como circular e seu volume é calculado por integração da função. O tronco é tratado como um sólido de revolução.

Diversos modelos de regressão têm sido propostos e empregados para descrever o perfil do fuste, contemplando as variações de forma, segundo a espécie.

⁴ DIMITROV, E.T.; VICHEV, I. Analytical construction and expressions of height curves for Scots Pine. *F. A.*, v.41, n. 10, p. 491, 1980. (Resumo)

O melhor modelo depende dos objetivos desejados para cada caso específico. A variável dependente de uma função de afilamento é a razão entre o diâmetro (d) a uma altura conhecida (h) e o DAP.

Dentre as diversas técnicas estatísticas de modelagem empregadas para descrição do perfil de troncos, destacam-se os modelos polinomiais não-segmentados que conseguem aliar eficiência a certa simplicidade de aplicação, quando comparados com os polinômios segmentados.

Figueiredo (2005), ao comparar às equações de volume, com as funções de afilamento constatou que existe precisão equivalente, porém é muito mais interessante, na medida em que se consegue estimar volume de qualquer porção da árvore. Vale ressaltar que as funções de afilamento podem acarretar erros quando adotadas para estimativas por área, uma vez que os ajustes são feitos para uma base restrita de indivíduos, uma vez comparados com as amostragem dos inventários. Scolforo (1997) afirmou que tais erros podem ser diminuídos quando se aumenta o tamanho da amostra, o que implica no aumento dos custos do processo.

Para Fischer (1997), modelos de afilamento são relações funcionais que permitem descrever o perfil longitudinal de um tronco. São funções consideradas dinâmicas, porque possibilitam a estimativa do diâmetro (d_i) de dada altura (h_i) e altura a qualquer diâmetro especificado, como também servem para fazer o sortimento e estudar a evolução da forma da árvore ao longo de sua vida.

De acordo com Loetsch, Zohrer e Haller (1973), os primeiros trabalhos com equações de afilamento foram desenvolvidos por Höjer⁵ (1903). Em seguida vieram os trabalhos de Jonson⁶ (1911), Hohenadl⁷ (1924) dentre outros, porém nos anos mais recentes com o avanço da informática modelos cada vez mais complexos e eficientes foram surgindo.

Scolforo (1997) e Campos & Leite (2006) mencionaram que os modelos de afilamento podem ser classificados como:

- Modelos Polinomiais: são aqueles baseados principalmente na comparação entre a variável dependente $(d_i/DAP)^2$ ou $(d_i/D_{0,1})^2$ e os polinômios formados pela variável independente (h_i/H) .

⁵ HOJER, A. G.; Growth of Scots Pine and Norway spruce . Bilaga till Lovén, F. A., om våra barrskogar, Stockholm. Swed. 1903.

⁶ JONSON, T. Investigation of stem form. Skogsv. Foren. Tidskr., 9: 285 – 329. Swed. 1911.

⁷ HOHENADL, W. Der Auf bau der Baumschafte. Forstwiss. Centralbl. 46: 460 -470. 1924.

- Modelos Sigmoidais: utilizam transformações de variáveis de modo que o modelo se assemelha à forma natural dos troncos. Trata-se de expressões matemáticas que geram um perfil semelhante a uma curva sigmóide.
- Modelos Segmentados: consistem no uso de sub-modelos justapostos, cada um representando uma porção do tronco. A união dos sub-modelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo geral.
- Modelos definidos por análise multivariada: baseiam-se na aplicação de análise multivariada (análise de componentes principais) para investigar as variações existentes na estrutura dos dados e definir o modelo de regressão a ser utilizado para descrever o perfil do tronco.
- Modelos de razão entre volumes

Além das vantagens referentes à flexibilidade e amplitude das informações geradas, as funções de afilamento apresentam ainda o princípio da compatibilidade entre o volume total e os volumes comerciais estimados. Tal princípio garante que a soma dos volumes comerciais seja sempre menor que o volume total Scolforo (1997).

Campos & Leite (2006) ainda mencionaram que a eficiência de uma função de forma está, em grande parte, relacionada à flexibilidade proporcionada por ela e com a forma descrita pelo perfil geral da espécie em particular, sendo assim uma função pode resultar em estimativas consistentes para determinadas espécies e não resultar para outras.

Segundo Machado et al. (2004), os modelos polinomiais são de usos freqüentes no meio florestal, caracterizando-se por ajuste de regressão entre a relação de diâmetro (d_i/DAP) ou $(d_i/DAP)^2$ e de alturas $(h_i/H)^n$ ou $[(H-h_i)/H]^n$. Dentre eles destacam-se o modelo do polinômio de quinto grau e o modelo espelhado na função parabólica do kozak et al. (1969).

De acordo com os mesmos autores apesar do seu grande uso no meio florestal, estes modelos polinomiais não explicam, de maneira acurada as deformações existentes na base do tronco das árvores, mesmo sendo uma das ferramentas de grande valia e mais sofisticada para o manejador florestal.

De acordo com Machado et al. (2004), o aproveitamento de uma árvore deve ser feito de maneira que se obtenha o maior retorno financeiro possível, sendo assim quando uma mesma árvore tem diversos usos finais, o seu valor agregado é maior, pois alcança maior valor no mercado. O conhecimento desta

proporcionalidade torna-se importante para fins de planejamento da produção em um dado momento ou durante o ciclo de produção da espécie.

Estes diferentes usos que uma mesma árvore possa ter são conhecidos no meio florestal com sortimento, e podem ser obtidos com as funções de afilamentos, que são instrumentos biométricos básicos para a determinação do critério de retorno de investimento “Rotação Técnica” a qual conjuga a oportunidade do mercado consumidor com as características das dimensões das toras de uma árvore ou povoamento de forma quantitativa e seletivamente.

Ainda, de acordo com Arce (2000), considerando-se que uma árvore será cortada e dividida em toras, para a aplicação de técnicas matemáticas visando a solução de problemas de corte e empacotamento, é necessário que se defina o comprimento útil da tora e alguma função que descreva a redução diamétrica da base para o topo, sendo adequada uma função de afilamento. Assim, pode-se deduzir que estimar a altura relativa a um diâmetro mínimo comercial, empregando-se uma função de afilamento significa estimar o comprimento útil da árvore.

Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1996), o polinômio do 5º grau tem sido o mais usado para descrever o perfil de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* na região sul do Brasil.

De acordo com Campos & Leite (2006), o modelo mais usual na representação do perfil do fuste dos vegetais é o modelo linear polinomial de Kozak *et al.* (1969), possivelmente por sua facilidade de ajustamento, além da precisão das suas estimativas.

Fischer *et al.* (2001) avaliaram a acurácia das razões entre volumes compatíveis com a função de afilamento, o modelo polinomial de 5º grau e o modelo de potências fracionárias e inteiras, sob a influência das classes de diâmetro e da produtividade dos sítios. Esses autores concluíram que os polinômios foram superiores às razões entre volumes para estimar o perfil dos troncos. Observaram ainda que as regiões, os sítios e as classes diamétricas influenciaram na estimativa do perfil do tronco e os modelos ajustados por sítio propiciaram melhores estimativas dos diâmetros ao longo do fuste.

Na Tabela 4 encontram-se alguns modelos de afilamento de bastante utilização na área florestal.

TABELA 1.4 - MODELOS DE AFILAMENTO NÃO SEGMENTADOS.

Modelo (Autor)	Modelos
Kozak	$(di/DAP)^2 = \beta_0 + \beta_1(hi/ht) + \beta_2(hi/ht)^2$
Polinômio 5º grau	$(di/DAP) = \beta_0 + \beta_1(hi/ht) + \beta_2(hi/ht)^2 + \beta_3(hi/ht)^3 + \beta_4(hi/ht)^4 + \beta_5(hi/ht)^5$
Hadetzky	$(di/DAP) = \beta_0 + \beta_1(hi/ht)^{Pi} + \beta_2(hi/ht)^{Pi} + \beta_3(hi/ht)^{Pi} + \dots + \beta_n(hi/ht)^{Pn}$

Onde:

DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm);

di = diâmetro tomado ao longo do fuste (cm);

hi = altura nos diâmetros tomados ao longo do fuste (m);

ht = altura total da árvore (m), e

β_i = coeficientes dos modelos a serem estimados.

p_i = expoentes variando entre 0,005 e 25.

1.9 Fator de Forma

O fator de forma é uma opção antiga e que deve ser utilizada em situações que não se tenha nenhuma informação, ou ainda necessite de rapidez do trabalho de inventário. Ele fornece estimativas confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio (FRANCO et al.⁸, 1997, citado por CABACINHA 2003).

O fator de forma é uma razão entre volumes utilizada para corrigir o volume do cilindro para o volume da árvore, e é influenciado pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste e idade, entre outros fatores (SCOLFORO, 1998).

Conceitua-se fator de forma, segundo Finger (1992), como sendo um fator de redução do volume do cilindro para o volume real da árvore; este deve ser multiplicado pelo volume do cilindro para, então, se obter o volume real da árvore.

O fator de forma, conforme citado por Prodan *et al.* (1997), pode ser real ou verdadeiro e falso ou artificial, dependendo da altura que for medido o diâmetro do cilindro de referência. Fato idêntico ocorre com os quocientes de forma. Dessa maneira, se o diâmetro do cilindro de referência for medido em altura relativa, o fator de forma será denominado real ou verdadeiro. E caso seja medido a uma altura absoluta, o fator de forma denominar-se-á falso ou artificial.

⁸ FRANCO, E.J.; SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, A.D. Eficiência dos métodos para estimativa volumétrica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Cerne**, Lavras, v.3, n.1, p.82-116, 1997.

Prodan *et al.* (1997) citaram que o fator de forma artificial num povoamento depende de fatores genéricos e de fatores mensuráveis. Os fatores genéricos como a espécie, idade do povoamento, qualidade do sítio e densidade do povoamento podem ter certa dificuldade de se determinar e de se comprovar. Já os fatores mensuráveis como diâmetro, altura, tamanho da copa são mais facilmente mensuráveis dentro do povoamento. Devido a isso, na prática e cientificamente, o fator de forma é expresso em função dos fatores mensuráveis. A determinação do fator de forma artificial ou natural se constitui numa importante prática, quando se pretende estimar volume individual de árvores.

1.10 Distribuição Diamétrica

A estrutura da floresta consiste na distribuição de árvores e suas dimensões em relação a uma unidade de área, resultado dos hábitos de crescimento das espécies, das condições ambientais e práticas de manejo. No estudo da estrutura da floresta, a distribuição diamétrica é uma ferramenta básica, amplamente difundida e aplicada, constituindo o meio mais simples e eficaz para descrever as características de um povoamento (BARTOSZECK, 2000).

A distribuição é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, sendo a forma mais potente para descrever as propriedades de um povoamento. A variável diâmetro, obtida por medição direta das árvores, é bem correlacionada com outras variáveis importantes tais como o volume, além de outras como qualidade de produção e custos da exploração (BAILEY & DELL (1973) ; BARTOSZECK, 2000).

De acordo com Scolforo (1998), em florestas plantadas a distribuição diamétrica é básica para que a predição ou prognose da produção possa ser implementada. Em florestas nativas que não tem idade definida, a distribuição diamétrica é importante, pois mostra a amplitude dos diâmetros, onde acontece maior concentração do número de árvores, serve para distinguir diferentes tipos florestais, possibilita, quando aliada a informações de crescimento periódico do diâmetro ou quando associada a mudança de árvores de uma classe diamétrica para outra, a elaboração de tabelas de produção que consideram a dinâmica da população florestal

As empresas florestais têm procurado ao máximo otimizar suas atividades com a finalidade de maximizar seus lucros e minimizar seus custos, mantendo a qualidade. Assim, todas as ferramentas que possibilitem um melhor planejamento das atividades do manejador são úteis e devem ser consideradas. De uma maneira geral a dinâmica de qualquer floresta depende de uma série de fatores, mais pode ser explicada resumidamente de acordo com seu incremento em diâmetro, altura, área basal e mortalidade em um determinado intervalo de tempo. Neste grupo de ferramentas está a prognose das classes diamétricas que apóiam o planejamento do volume de madeira por classes diamétricas nos diferentes períodos.

A distribuição diamétrica é a ferramenta mais simples e poderosa para caracterizar a estrutura de uma floresta. De um modo geral, o diâmetro se correlaciona muito bem com outras variáveis importantes como altura, volume, valor, custo de conversão e tipificação de produtos. A quantificação da distribuição diamétrica e sua relação com o sítio, a composição do povoamento, a idade e a densidade são valiosas tanto para fins econômicos como biológicos

Por meio da distribuição diamétrica das árvores que compõem um povoamento florestal é possível identificar seu potencial de uso presente ou futuro. Existem diferentes tipos de modelos usados para esta finalidade, dependendo dos dados disponíveis e das informações requeridas. Guimarães (1994) citou que os três principais modelos não espaciais, disponíveis para a predição por classe do povoamento são: funções probabilísticas, matrizes de transição e processos de difusão. As funções de probabilidade expressam a evolução das classes do povoamento e são geralmente o meio mais utilizado.

Segundo Campos & Leite (2006), os modelos de distribuição diamétrica estimam o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presente e futura. A partir daí, o emprego de uma equação de volume, de afilamento ou de razão volumétrica, permite estimar a produção por classe de diâmetro, sendo significativo em situações em que há interesse em multiprodutos da madeira.

As funções de densidade de probabilidade permitem estimar a provável distribuição que apresentam os diâmetros, descrevendo a estrutura de um povoamento, o qual facilita o planejamento da produção da floresta. As distribuições tradicionalmente avaliadas na área florestal são: Beta, Gamma, Log-normal, Normal, SB deJohnson e Weibull de dois ou de três parâmetros. Nos tempos mais recentes,

a distribuição Weibull tem sido a mais amplamente utilizada, sua popularidade se baseia na sua relativa simplicidade e flexibilidade.

O físico sueco Wallodi Weibull desenvolveu, em 1939, uma função estatística para descrever o tempo de vida de materiais sob cargas que causava fadigas e rupturas. Porém, este método estatístico pode ser e vem sendo aplicado em diversas outras áreas inclusive no meio florestal. Weibull fundamentizou sua teoria partindo do princípio que o elo mais fraco de uma corrente pode descrever o comportamento e a resistência mecânica dos materiais, onde o ponto mais fraco define a resistência do corpo inteiro.

No meio florestal a distribuição Weibull foi aplicada primeiramente em 1973 por Bailey e Dell, mas desde então vários trabalhos de modelagem do crescimento, tanto nacionais como internacionais vem utilizando a distribuição probabilística de Weibull.

Maestri (1992) aplicou a função Weibull com três parâmetros para estimar a produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamentos de acácia-negra. Para obter os parâmetros da função, ele utilizou a técnica de recuperação dos coeficientes “b” e “c”, através de pares de diâmetros percentis, e do coeficiente “a” pela relação direta com o diâmetro mínimo da amostragem, obtendo resultados com aceitável grau de confiabilidade.

Abreu (2002), com dados de *Eucalyptus grandis* precoces, modelou os atributos da floresta (sítio, sobrevivência, relação hipsométrica genérica, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros), ajustou e selecionou as funções probabilísticas como Beta, Weibull e SB por diferentes métodos e avaliou a veracidade das prognoses e a eficiência do modelo para realizá-las precocemente. Nesse estudo, foi verificado que a função de distribuição Weibull, ajustada pelo método dos momentos, mostrou-se a mais precisa.

As funções Beta, Gamma, Normal, SB de Johnson e Weibull com três parâmetros foram ajustadas e testadas por Valejos (2003) no desenvolvimento de um sistema de simulação de crescimento e produção de *Populus spp.* Com os resultados estatísticos favoráveis, ele implementou no sistema a função Weibull com três parâmetros, utilizando o método dos momentos para obtenção dos parâmetros.

Segundo Guimarães (1994) existe um consenso sobre a superioridade da distribuição probabilística de Weibull no meio florestal, quando aplicado à distribuição diamétrica de florestas equiâneas, sendo assim, atualmente esta distribuição é a mais utilizada.

Segundo Maestri (2003), na maioria dos casos é empregado o teste de aderência não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov indicado para avaliar a distribuição teórica de um conjunto de dados, já que é muito sensível a qualquer diferença do valor central e da dispersão. A consistência das distribuições diamétricas obtidas para cada classe quase sempre é utilizada valendo-se do teste de Kolmogorov-Smirnov. Este teste é adequado para avaliar o ajuste das distribuições quando comparado com os testes G (Log. Likelihood ratio) e o qui-quadrado. O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser aplicado para pequenas e grandes amostras e trata os dados individualmente, não perdendo informação devido ao agrupamento, como ocorre nos outros dois citados.

1.11 Prognose da produção

O manejador florestal deve considerar dois elementos básicos para a tomada de decisão gerencial e que possam ser baseadas em critérios técnicos. A primeira é o conhecimento e o domínio de toda a estrutura de custos, preços e taxas de juros. O outro aspecto é conhecimento da produção presente e futura que cada sítio florestal e que cada espécie pode propiciar ao longo do tempo. Segundo Figueiredo (2005), essa informação pode ser obtida com a utilização de técnicas de modelagem de crescimento e de produção, auxiliando na tomada de decisões como realizar desbaste, momento da rotação técnica e econômica ótima.

As florestas devem ser estudadas para propiciar o conhecimento e mesmo para a manutenção da biodiversidade, assim como para que se viabilize a exploração de seus produtos, bens e ou serviços provenientes de forma planejada e racional, para garantir o fluxo contínuo desses recursos.

O planejamento é essencial no manejo florestal, em razão do longo tempo envolvido e também das dificuldades de promover mudanças bruscas na condução de uma floresta, sem alterar a sustentabilidade

Segundo Ferrari *et al.* (2005) os modelos de crescimento e produção tem sido classificados como modelos aplicados a povoamentos e a árvores individuais. Os modelos podem também projetar outros parâmetros relativos aos povoamentos, como diâmetro médio, área basal, altura e número médio de árvores por área.

Os modelos de crescimento e produção são técnicas usadas para prognosticar a dinâmica de um povoamento, e independentemente da complexidade estrutural que possam apresentar, todos os modelos de crescimento e produção têm um propósito em comum, que é o de apresentar estimativas das características do povoamento de um ponto específico no tempo.

Os modelos biométricos tentam representar indiretamente o efeito do ambiente e das práticas silviculturais no desenvolvimento das árvores de um povoamento florestal, utilizando fontes de variação como o sítio, a área basal e a idade. Modelos com propriedades biológicas e amparados numa amostragem adequada, com informações precisas e remedições, propiciam prognoses do crescimento e da produção florestal com elevado grau de confiabilidade.

Estes modelos podem ser classificados em modelos para o povoamento, modelos por classe diamétrica e modelos para árvores individuais. A partir deles podem-se prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem a qualidade do produto final como desbaste, rotação econômica ótima e planejamento da colheita. Com a prognose da produção é possível também viabilizar a adoção de um plano de suprimento através da otimização da produção, ou ainda da minimização de custos.

O crescimento de uma árvore ou de um povoamento florestal é o mais importante fenômeno que ocorre em uma floresta, consistindo no alongamento e engrossamento das raízes, troncos e galhos, influenciando diretamente variáveis dendrométricas como peso, altura, diâmetro, dentre outras.

O conhecimento do crescimento e da produção presente e futura de árvores e povoamentos florestais é fundamental para viabilizar o planejamento da atividade florestal e vem sendo estudada há mais de 200 anos, tendo progredido muito desde as últimas décadas do século passado e continua a progredir cada vez mais devido ao avanço tecnológico.

O crescimento de um povoamento florestal é influenciado por diversos fatores, inclusive pelo grau de competição exercido pelas próprias árvores que o

compõem. A aplicação de modelos de crescimento individual de árvores é bastante complexa, exigindo conhecimento dos povoamentos e demarcadores geográficos, identificando as árvores a serem estudadas. Entretanto, de forma geral estas informações relativas à localização das árvores não estão disponíveis em inventários florestais comuns.

Sendo assim, é perceptível notar que a maioria dos trabalhos de crescimento e produção são desenvolvidas em nível de povoamentos. De acordo com Campos & Leite (2006), a modelagem do crescimento e da produção está diretamente ligadas a variáveis volumétricas do povoamento (idade, índice de sítio e área basal). O índice de sítio é um valor numérico expresso pela média das alturas das árvores dominantes em uma idade pré-estabelecida.

A utilização do índice de sítio permite ao manejador avaliar diferentes alternativas de manejo quando associadas a um modelo de crescimento e produção. Em face disso, é do interesse de qualquer administrador ligado ao setor florestal conseguir quantificar e prognosticar, com confiabilidade, o estoque de uma determinada floresta. A quantificação do crescimento e da produção consiste em uma condição essencial para definir a utilização dos bens advindos da floresta, além de fornecer informações que subsidiam a tomada de decisões para a maioria das atividades ligadas ao setor (ABREU, 2000).

Neste contexto uma das fontes de informação mais importantes para o manejador florestal, é a existência de relação quantitativa e modelos matemáticos que sejam consistentes e numericamente compatíveis para a predição do desenvolvimento do povoamento em qualquer idade, seja ela presente ou futura.

1.12 Planejamento da Produção

O planejamento da produção florestal é a organização estrutural das atividades de produção de madeira (e outros benefícios oriundos da floresta) através de técnicas analíticas, com o objetivo de se indicar opções de manejo que contribuam da melhor forma para atender os objetivos do empreendimento (SANQUETTA, 1996).

Segundo Hosokawa (1982), o Planejamento da Produção Florestal seria o Ordenamento da Floresta, tanto em otimização da Produção Madeireira e da

Produção Financeira, quanto da produção de Benefícios Indiretos (sociais e ecológicos) a um custo mínimo, sejam eles custos de produção, custos sociais ou custos ecológicos. Para tanto, são necessárias informações de ordem biológica, biométrica, econométrica, ergonômica, sociológica e ecológica.

O manejo de florestas para produção de madeira, seja para fins mais nobres ou para energia, tem muitas similaridades com a produção de qualquer manufaturado. Sempre o produto vendido resulta em receitas que devem cobrir os custos e excedê-los, gerando lucros.

O componente referente à matéria-prima é de fundamental importância, mas os outros fatores da produção, como, capital e trabalho, também estão intimamente relacionados com a otimização da atividade florestal como um todo.

A tomada de decisão focada na busca da otimização da atividade florestal compreende aspectos quantitativos e qualitativos da madeira, tempo e intensidade das intervenções na floresta (desbastes, podas, etc.), quando essas fazem parte do sistema da empresa entre outros, e a continuidade da atividade ou rendimento sustentado. Sendo assim, fica claro e evidente que o planejamento é básico para o empreendedor florestal.

Ao manejador florestal compete mais do que uma visão isolada dos aspectos biológicos, econômicos e ambientais, ter uma visão integrada destes pontos que influenciam o planejamento da produção, buscando obter sua interação de modo a otimizar o rendimento, a eficiência e a qualidade da empresa florestal.

1.13 Rotação Florestal

A rotação é um dos fatores mais importantes no processo de planejamento florestal e de regulação da floresta, pois toda a estrutura produtiva é feita com base na rotação (REZENDE & OLIVEIRA, 2006).

Segundo Campos & Leite (2006), a rotação florestal ou idade de colheita é aquela em que o incremento médio anual é máximo; nesta idade, este incremento é igual ao incremento corrente anual.

Uma das rotações mais comumente adotadas é a de máxima produtividade, que é obtida quando o Incremento Médio Anual (IMA) é máximo e igual ao Incremento Corrente Anual (ICA). Essa rotação tem sido popularmente utilizada pela

sua simplicidade de determinação e pela lógica afirmação de que proporciona a máxima produção volumétrica por unidade de tempo.

Outro tipo de rotação muito empregado é a rotação econômica, que é aquela que proporciona o máximo de lucro ou de rentabilidade da floresta. Atualmente, com as novas técnicas computacionais, esse tipo de rotação tem sido amplamente utilizado pela facilidade de se incluírem fórmulas financeiras aos programas de manejo florestal.

A observância da idade ótima de corte tem expressiva importância no resultado econômico final do investimento florestal e é vital em qualquer plano de manejo, pois, realizando-se a operação de corte fora desta idade, o investidor florestal estará contribuindo para a elevação dos seus custos de produção, deixando de obter o máximo retorno sobre o investimento.

A determinação da idade de corte de um povoamento é uma das fases mais importante no conjunto das técnicas de manejo e planejamento florestal. Extensos plantios de eucalipto têm garantido o abastecimento de inúmeras indústrias consumidoras de matéria-prima florestal. O baixo custo e curto prazo de produção, devido principalmente às excelentes condições edafoclimáticas sob as quais o eucalipto cresce no Brasil, ajudaram a colocar a indústria florestal brasileira no grupo das oportunidades de investimento de maior competitividade.

A idade de corte de um talhão representa uma das principais variáveis de decisão em planos de manejo florestal. A definição da duração de uma rotação pode requerer uma análise independente por talhão ou estar vinculada à produção simultânea de todos os talhões da floresta. O segundo caso resulta geralmente em uma complexa tarefa e envolve o processamento de um enorme volume de informações.

O máximo incremento médio anual indica a máxima produção do povoamento florestal, ou seja a rotação silvicultural ou técnica, caso essa seja a opção gerencial. Porém, vale ressaltar que este critério não leva em consideração os custos, a dimensão dos produtos florestais, a renda e a taxa de juro.

Existem vários fatores que podem influenciar a idade ótima de corte, tanto no aspecto técnico quanto no econômico. Em termos técnicos, destacam-se a espécie, o espaçamento utilizado, a produtividade do local, a finalidade da madeira e a quantidade de fertilizante utilizado. Já em termos econômicos, destacam-se o

horizonte de planejamento, os custos envolvidos na produção, o preço da madeira e a taxa de desconto usada. Sendo assim, a rotação deve ser determinada e não arbitrada, para avaliações futuras.

Os custos compõem um dos elementos que mais influenciam na tomada de decisão do investidor florestal. Logo, é justificável a análise econômica da influência destes fatores no custo de produção, na rotação e na reforma de qualquer plantio florestal.

Uma empresa florestal pode utilizar as melhores técnicas de produção e plantio de mudas, usar a espécie mais adequada, atingir uma estrutura ótima de povoamento, adotar as técnicas de proteção e ainda ficar muito aquém dos resultados econômicos potencialmente atingíveis, caso o corte final e, ou, intermediário não seja realizado no momento adequado, Resende (2004).

1.14 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R. **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000

ARCE, J.E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência florestal**, Santa Maria. 2004. v. 14. n 1. p 149-164.

ALFENAS, Acelino Couto et al. **Clonagem e doenças de eucaliptos**. Viçosa: UFV, 2004, p. 442.

ASSIS, T. F. **Melhoramento genético do eucalipto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte: v. 19, nº189, p. 36-46, 1997.

AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 4.ed. Boston: McGraw-Hill, 1994. 400 p.

BAILEY, R. L.; DELL, T.R. Quantifying diameters distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n.2, p 27- 104, june 1973.

BARROS, D.A. **Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantação de *Pinus oocarpa* na região de Agudos-SP em diferentes idades e números de desbastes**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N.; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais : descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.

BARTOSZECK, A.C.,P.S. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em Bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia casinoide*) no Estado de São Paulo e sul do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Scientia Forestales**, nº65, p. 162- 175, 2004.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1996

BURGER, D. **Ordenamento florestal I**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 1976. não-paginado.

CABACINHA, C. D.; **Acuracidade na estimativa volumétrica de *Eucalyptus saligna***. 42 f. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000.

CABACINHA, C. D.; **Um método para realização do inventário florestal suprindo a cubagem rigorosa**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2003.

CALDEIRA, M.V.W.; TONINI, H.; HOPPE, J.M.; WATZLAWICK, L.F.; SELLE, G.L.; definição de sítios em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. Na Região de Encruzilhada do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria. 1996, v.6, n.1, p.1-13.

CAMPOS, J.C.C. **Dendrometria**. Viçosa: UFV, 1988. 43p.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G.; **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. ver. E ampl. – Viçosa: ed. UFV, 2006. 470p.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L.V. **Timber management: a quantitative approach**. New York: John Wiley & Sons. 333p. 1983.

FERRARI, M.P.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D.; TREVISAN, R. Prognose do crescimento volumétrico individual de árvores de eucalyptus, em povoamentos na Região Centro Sul. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo -PR, n. 51, p.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). *Can. J. For. Res.* 30: 990 -997, 2000.

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

FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. 1997. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FRANCO, E. J. **Estudos dos métodos estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para *Eucalyptus camadulensis***. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1996 .

GONÇALVES, A. N. **Reversão da juvenilidade e clonagem de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake “in vitro”**. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luis Queiroz. Piracicaba, 1992.

GIRARDIN, J. L.; BROQUEN, P. El crecimiento de *Pinus ponderosa* Dougl. y *Pseudotsuga menziesii* Mirb. En diferentes condiciones de sitio. *Bosque*, v. 16, n. 2, p. 57-67, 1995.

GOMES, A.M.A. **Medições dos Arvoredos**. Lisboa: Livraria Sá Da Costa, 1957. 413p.

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de eucalipto**. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1994.

HOSOKAWA, R. T. **Manejo Florestal**. 1982.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1973. 469p.

MACHADO, S. A. ; TÉO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Revista Cerne**, Lavras - MG, v. 12- n°3, n. 3, p. 239-253, 2006.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba. Sebastião do Amaral machado e Afonso Figueiredo Filho Guarapuava: UNICENTRO. 2.ed. 316 p. 2006.

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

MACHADO, S. A.; NADOLNY, M.C. Comparação de métodos de cubagem de árvores e de diversos comprimentos de seção. In: Anais do III Congresso Florestal e do meio Ambiente do Paraná. V.1. APEF. Curitiba. 1991. 89-104.

MAESTRI, R. **Modelo de Crescimento e produção para povoamentos clonais de Eucalyptus grandis considerando Variáveis Ambientais**. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

MAESTRI, R. **Estimativa de produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamento de Acácia-negra** (*Acacia mearnsii*). 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1992

CUNHA NETO, F. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CALEGÁRIO, N.; KANEGAE JÚNIOR, H. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na Região de Luiz Antonio – SP, Brasil. **Revista Cerne**, v. 2, n. 2, 1996.

PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. REAL, P. **Mensura Forestal**. San José, C. R: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), 586p. 1997.

QUEIROZ, R.S.; BARRICHELO, L.E.G. **O eucalipto um século no Brasil**. São Paulo. ed. Antonio Bellini Editora & Cultura, 2007. 127p.

RESENDE, R.R. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista árvore**, Viçosa, MG, V.28, n.2, p. 219-225, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa: UFV, 2001. 389 p.

SANQUETA, C.R. **Fundamentos Biométricos dos Modelos de Simulação Florestal**. Curitiba: FUPEF, 1996, 49p.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. 443 p.

SCOLFORO, José Roberto Soares, MELLO, José Márcio, **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 310p.

SCOLFORO, J.R.S.: **Biometria Florestal: Métodos para classificação de sítios florestais**. Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 151p. (textos acadêmicos).

SCOLFORO, J.; R.; S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal: Medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/FAEP, 1998. 310p.

SILVA, A. R. da, PAIVA, H. N. de. **Implantação da cultura do eucalipto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte: v. 18, nº185, p. 28-31, 1996.

SPURR, S.H. **Forest Inventory**. New York, The Ronald Press Company. 1952. 476 p.

TONINI, H.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; SPATHELF, P. Índice de sítio para *Pinus elliottii* Engelm, em três unidades de mapeamento de solo, nas Regiões da Serra do Sudeste e Litoral, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 61-73, 2002.

CAPITULO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS SÍTIOS FLORESTAIS PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS

RESUMO

Os estudos foram realizados em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* localizado no município de Niquelândia no estado de Goiás, objetivando a seleção do modelo para a classificação de sítio mais estável para as árvores dominantes na idade de referência de sete anos. Os dados provieram de 21 parcelas remedidas na idade aproximada de três e cinco anos. Foram testados sete modelos pelo método da curva média e em seguida o melhor modelo foi submetido ao teste de anamorfismo. O modelo de Chapman & Richard foi o que apresentou o melhor desempenho. O teste de anamorfismo para o modelo selecionado demonstrou que a base de dados segue um padrão anamórfico, deixando claro que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local. Vale ressaltar que as curvas geradas são consideradas provisórias, devido os dados de campo estarem com idades inferiores à idade de referência e ainda que a complexidade do processo assegure uma classificação de sítios de forma precisa e estável, a base de dados estudados nas parcelas permanentes e resultante de apenas duas medições.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*. Classificação de sítios. Método da Curva Guia. Teste de Anamorfismo.

SUMMARY

This study was carried out in stands of *Eucalyptus urophylla* located in the county of Niquelândia in the state of Goiás having as an objective the selection of a model for site classification at the reference age of seven years. The data came from 21 plots measured at the ages of approximately three and five years. Seven models were tested by the average curve method, and then, the model was subjected to the anamorphism test. The model that had the best performance was the Chapman & Richard. The anamorphism test for the selected model showed that the database follows an anamorphic standard meaning that the site index does not depend on the age, but instead on the productive capabilities of the area. It is important to point out that the generated curves are temporary taking into account that the collected data had ages under the reference age of seven years, and also for the fact that precise site classification is complex and the stands were only measured two times.

Key words: *Eucalyptus urophylla*. Site Classification. Method of the Curve Guides. Anamorphism Test.

2.1 INTRODUÇÃO

Hoje é sabido que os ecólogos definem sítio como uma unidade geográfica uniforme, caracterizada por uma certa combinação estável dos fatores desse local, enquanto os técnicos em manejo florestal o definem como um fator de produção primário capaz de produzir madeira ou produtos florestais a eles associados. No entanto, Kilian (1984) apontou que estes conceitos são complementares e que uma classificação de sítio, do ponto de vista ecológico, pode e deve preceder a determinação da capacidade produtiva dos locais (MACHADO *et al.*, 1997).

A classificação das propriedades florestais quanto aos possíveis níveis de produtividade é de grande importância, pois da maior ou menor produtividade do sítio dependem: a dimensão dos produtos vindos da floresta nas várias idades; a viabilidade ou não de projetos florestais; as diferentes respostas de certas culturas florestais; a identificação do potencial de produtividade da propriedade florestal, além de fornecer referência para o diagnóstico e prescrição do manejo e conservação do solo. Figueiredo Filho (1991) afirmou que a qualidade do sítio também afeta a forma do tronco, onde sítios de menor capacidade produtiva, as árvores apresenta maior conicidade ou formas indesejáveis.

Existem algumas alternativas para a classificação de sítios conforme apresenta a literatura. Os métodos diretos avaliam a qualidade do sítio a partir de atributos do ambiente, levando em consideração características, como clima, solo e vegetação, enquanto que os métodos indiretos existe consenso da parte dos manejadores florestais na utilização dos métodos indiretos para o desenvolvimento dos índices de sítios, na qual dentre os atributos do povoamento a altura dominante pelo princípio de Assmann (altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare), vem sendo universalmente o mais indicado para expressar o potencial produtivo de um determinado local e, assim, o será até que métodos que reúnam os fatores ambientais possam ser demonstrados de forma numérica e acessível às pessoas ligadas à área florestal.

Apesar de ser uma ferramenta de suma importância para o planejamento administrativo e mesmo produtivo das empresas ligadas ao setor florestal, poucas delas têm suas áreas classificadas quanto ao seu índice de produtividade. Devido à preocupação com gerenciamento florestal, uma evidência em alta do setor florestal no país, a necessidade de um maior conhecimento da produção presente e futura

dos povoamentos florestais para administrá-los de forma sustentada, a fim de que os retornos econômicos sejam cada vez mais elevados, as empresas vem buscando um maior conhecimento do potencial de suas florestas. Assim, a classificação dos sítios florestais vem se tornando atividade fundamental, para o estudo do crescimento futuro, para facilitar as tomadas de decisões no gerenciamento florestal.

Sendo assim, os objetivos deste trabalho foram:

- Ajustar sete modelos para classificação de sítios florestais pelos método da curva guia e selecionar o mais adequado;
- Avaliar a estabilidade das curvas;
- Testar o anamorfismo das curvas.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de Estudo

A área de estudo é de propriedade do Grupo Anglo American plc (CODEMIN), localizada no município de Niquelândia, no Estado de Goiás (Figura 2.1). De acordo com a classificação da Embrapa, na região do município de Niquelândia predominam solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, não hidromórficos com horizonte B latossólico, apresentando relação molecular Ki baixa, inferior a 1,9, de coloração variando de vermelho ao amarelo e gamas intermediárias. São normalmente muito profundos ou profundos, com sequência de horizontes A, B e C e com transições entre os subhorizontes difusas e graduais, acentuadamente a bem drenados. Em sua maior parte estes solos da área são álicos, ou seja, com percentagem de saturação de alumínio superior a 50%, atingindo até valores próximos a 95%. Apresentam textura média e relevo plano, ondulado.

O clima, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo AW, característico dos climas úmidos tropicais, com duas estações bem definidas: seca, no inverno, iniciando no mês de maio, 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 proximidade dos períodos que estão findando, com uma temperatura média anual de 28°C.

A Anglo American plc (CODEMIM) possui um patrimônio fundiário de aproximadamente 12.000 ha (doze mil hectares), plantado com Eucaliptos, distribuídos no município de Niquelândia Goiás, onde sua principal atividade é a obtenção do níquel. O eucalipto entra no processo da calcinação do metal para a obtenção da liga níquel, que posteriormente é transformada em granulados.

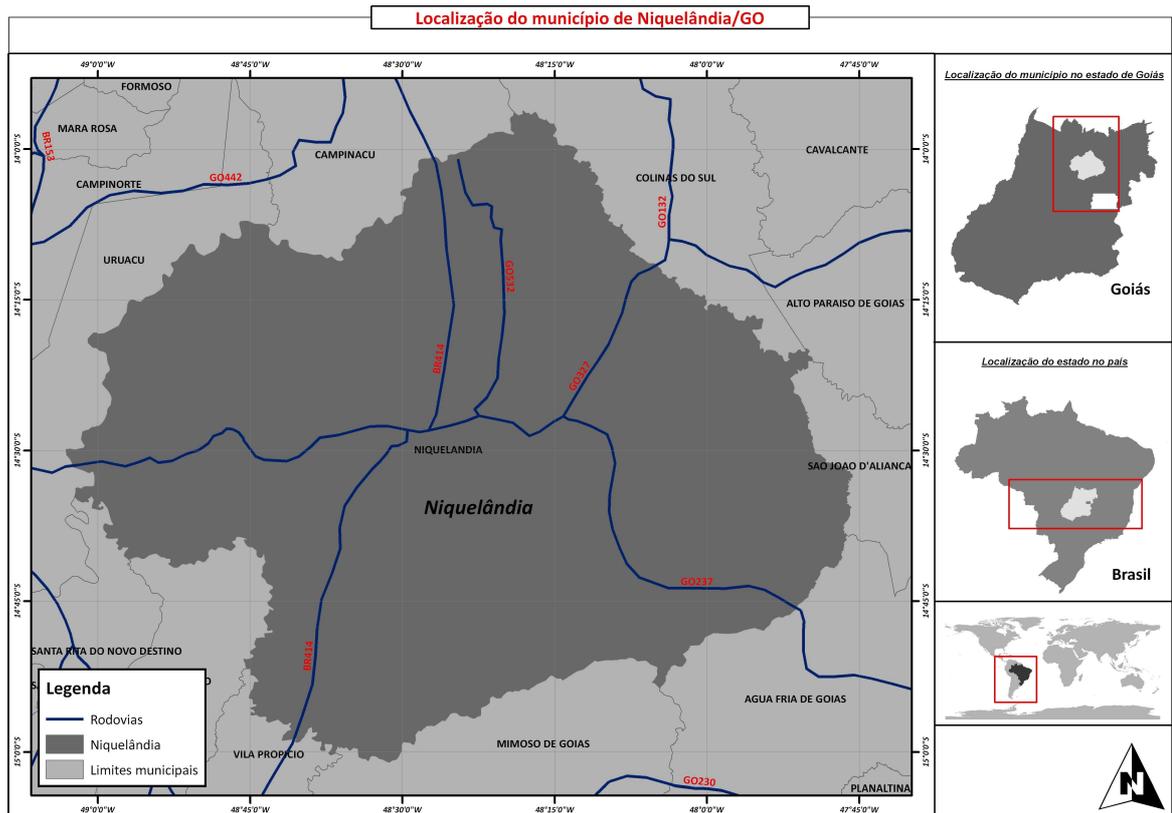


FIGURA 2.1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.2.2 Caracterizações do plantio

O povoamento selecionado para estudo apresenta as seguintes características:

O plantio está localizado no município de Niquelândia, situado na região norte do estado de Goiás, constituindo-se de um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla*, plantado em Novembro de 2001. A densidade inicial do povoamento foi de 1666 árvores.ha⁻¹ (espaçamento de 3X2 metros).

2.2.3 Classificação de sítio florestal

Para a classificação de sítios foram empregados os métodos da curva guia, ou curva média. Este procedimento matemático começou a ser empregado com maior frequência no meio florestal a partir da introdução da regressão linear múltipla.

Foram utilizados pares de alturas dominantes e idades, advindas de 21 parcelas permanentes (duas medições), de aproximadamente 480 m² cada. Sendo assim, os pares de idades e alturas da primeira medição estão compreendido entre as idade 2,59 e 2,71 anos, e na segunda medição entre as idades 5,42 a 5,71 anos.

Vale ressaltar, que todas as curvas de sítio geradas são consideradas curvas provisórias. A distância entre a idade de referência e a possível rotação do povoamento, faz com que haja necessidade de futuras atualizações das estimativas, a fim de obter melhores índices de sítios, ou mesmo para validar o presente estudo visando assim melhorias e maior confiabilidade no estudo do crescimento e da produção, uma vez que o sítio assume papel fundamental na produção florestal.

Segundo Schneider *et al.* (1988), Souza (1999), a idade índice é a idade-padrão, escolhida arbitrariamente, na qual se compara a altura dominante dos diferentes sítios. A escolha dessa idade está na dependência da rotação da espécie e deve ser preferencialmente fixada no final da rotação.

Neste estudo, optou-se por uma idade de referência de 7 anos, por ser esta, a idade de rotação média para *Eucalyptus* no Brasil, manejados em densidade completa, em razão do sistema absoluto de classificação de sítios ser mais ilustrativo e o mais utilizado em classificações brasileiras.

Foram testados 7 modelos pelo método da curva guia, os quais se encontram na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 - MODELOS AJUSTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA PARA EXPRESSAR A CAPACIDADE PRODUTIVA DOS DIFERENTES LOCAIS.

Identificação	Modelos	Autoria
Modelo 1	$Ln(Hdom) = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{Id}\right)$	Shumacher
Modelo 2	$Ln(hdom) = \beta_0 + \beta_1 * \left[\left(\frac{1}{Id}\right)^{\beta_2}\right]$	Bailey & Clutter
Modelo 3	$Hdom = \beta_0 * [1 - \exp(\beta_1 * Id)^{\beta_2}]$	Chapman & Richards
Modelo 4	$Hdom = \beta_0 * [1 - \exp(\beta_1 * Id)]$	Spillman
Modelo 5	$Ln(Hdom) = \frac{Id^2}{\beta_0 + \beta_1 * Id + \beta_2 * Id^2}$	Prodan
Modelo 6	$Hdon = \beta_0 + \beta_1 * LnId$	
Modelo 7	$Hdom = \beta_0 + \beta_1 * \left(\frac{1}{Id}\right)$	Curtis

onde:

Ln = logaritmo natural

hdom = altura das árvores dominantes (m)

Id = Idade da medição.

$\beta_0; \beta_1; \beta_2$ = coeficientes a serem estimados

Este procedimento consiste em selecionar os modelos de regressão, empregando-se uma base de dados de 21 pares de altura média das dominantes e idade, em duas medições distintas. A equação resultante do ajuste do modelo representa a curva média do crescimento acumulado da altura dominante.

Todos os ajustes dos modelos foram realizados pelo programa estatístico Statgraphics Centurion.

2.2.4 Escolha do Melhor Modelo

A seleção do melhor modelo que foi analisada pelas seguintes estatísticas com suas respectivas ordens de importância:

a) Análise gráfica dos resíduos (%), Estabilidade das curvas, que é uma estatística de suma importância a ser utilizada quando se trata de classificação de sítios, pois esta analisa a estabilidade que as parcelas têm no decorrer do tempo que permanecerem dentro do mesmo sítio.

b) Erro padrão da estimativa (Syx) nas escala da variável dependente e em percentagem (Syx%), sendo que quanto mais próximo de zero melhor, pois ele indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados;

c) Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), quanto mais próximo de 1 melhor será, pois ele mostra o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas independentes.

d) Índice de ajuste de Schlaegel (I.A), que calcula o R^2 para a variável de interesse (hdom).

O R^2_{aj} foi obtido pela 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:

SQres.= soma de quadrados do resíduo

SQtotal = soma de quadrados total

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

O Erro padrão da Estimativa (Syx), foi obtido através da seguinte fórmula:

$$syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n-p}} \quad syx\% = \frac{syx}{Y_m} * 100$$

Onde:

syx = erro padrão da estimativa (m)

syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem

Y_i = Altura dominante observada
 Y_e = altura dominante estimada
 Y_m = Altura dominante média observada
 n = número de observações
 p = número de coeficientes do modelo matemático

Os modelos onde a variável dependente sofreu transformação, deve-se recalcular o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa. Sendo assim o índice de ajuste de Schlaegel (I.A) tem essa finalidade de retransformar a variável que sofreu transformação. Para a aplicação do índice de ajuste de Schlaegel (I.A) usa-se seguinte formula:

$$I.A. = 1 - \frac{SQ_{res.}}{SQ_{total}}$$

onde:

$I.A$ = Índice de ajuste de Schlaegel
 $SQ_{res.}$ = Soma de quadrados dos resíduos
 SQ_{total} = Soma de quadrados total.

2.2.5 Teste de anamorfismo

Segundo Scolforo (1997), as curvas anamórficas caracterizam-se por apresentar uma taxa constante de crescimento relativo à altura para qualquer sítio. Nas curvas polimórficas, a taxa de crescimento relativo a altura depende dos fatores de sítios; sendo assim, se faz necessário conhecer o comportamento dos dados com a realização de teste do anamorfismo.

Ajustados os modelos de classificação de sítios florestais e selecionado o melhor modelo, foi realizado o teste de anamorfismo para a equação que propiciou o melhor ajuste de sítios. O teste de anamorfismo permite avaliar se as curvas apresentam comportamentos polimórfico ou anamórfico, ou seja, as alturas dominantes numa mesma idade em distintos sítios apresentam taxa diferente de crescimento.

Scolforo (1997) mencionou que o anamorfismo das curvas de sítios pode ser identificado a partir da verificação da existência de relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas idades consideradas, expressando que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Ajuste dos modelos testados

A TABELA 2.2 apresenta os resultados dos sete modelos matemáticos ajustados para a classificação de sítio pelo método da curva-guia.

TABELA 2.2 - EQUAÇÕES RESULTANTE DOS MODELOS AJUSTADOS

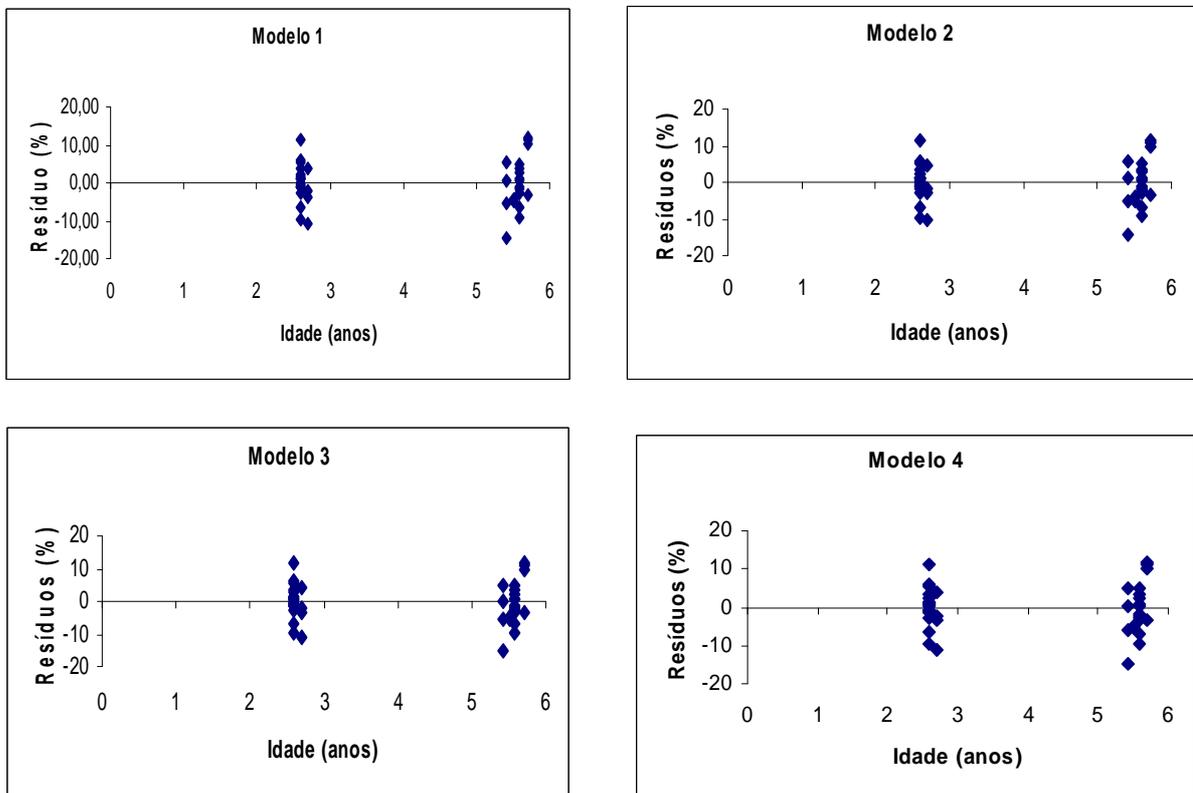
Modelos	Equações ajustadas
Modelo 1	$\ln(Hdom) = 3,32642 - \left(1,47204 * \left(\frac{1}{Id} \right) \right)$
Modelo 2	$\ln(Hdom) = 33,2256 - \left(30,2256 * \left(\frac{1}{Id} \right)^{0,0130743} \right)$
Modelo 3	$Hdom = 23,6772 * \left(1 - \exp(- 30,1997 * Id)^{0,0140213} \right)$
Modelo 4	$Hdom = 23,6772 * \left(1 - \exp(- 0,423429 * Id) \right)$
Modelo 5	$\ln(Hdom) = \frac{Id^2}{47,0514 + 2,67664 * Id + 0,00605687 * Id^2}$
Modelo 6	$Hdom = 8,77473 + 7,36978 * \ln Id$
Modelo 7	$Hdom = 36,6689 - 10,3311 - 27,3639 * \left(\frac{1}{Id} \right)$

Constata-se que os sete modelos testados apresentaram bons ajustes e com estatísticas muito próximas, exceto o modelo 6, que diferiu um pouco dos demais, apresentando estatísticas piores. Quanto à estabilidade dos modelos verifica-se a capacidade que o modelo tem de manter as parcelas no mesmo sítio, nos diferentes anos de medição, pode-se observar uma superioridade no modelo 3, que das 21 parcelas permanentes remeidas 2 mudaram de classe de sítio. A Tabela 2.3, mostra as estatísticas resultantes dos modelos ajustados, juntamente com suas estabilidades, sendo que quanto menor o número da mudança, melhor a estabilidade.

TABELA 2.3 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS TESTADOS PELO MÉTODO DA CURVA GUIA, BEM COMO A ESTABILIDADE DAS 21 PARCELAS REMEDIDAS.

Modelos	Estabilidade		Syx (m)	Syx (%)	R ² Ajustado(%)
	Não mudou	Mudou			
1	15	6	1,18	6,31	87,48
2	16	5	1,17	6,28	87,62
3	19	2	1,18	6,31	85,36
4	16	5	1,19	6,39	86,05
5	14	7	1,20	6,46	85,97
6	14	7	1,55	8,31	85,77
7	16	5	1,18	6,31	84,63

A Figura 2.1 mostra os gráficos de dispersão dos resíduos, onde é visível a semelhança de todos os modelos, podendo-se perceber que não existe nenhuma tendência clara nos resíduos, exceto o modelo 6, diferente dos demais, como nas outras estatísticas já apresentada. A Figura 2.1 mostra, os resíduos percentuais dos sete modelos ajustados onde é perceptível notar que o erro, tanto em superestimar quanto subestimar não ultrapassaram os 15%, ressaltando a exceção do modelo 6, que chegou a superestimar em 20%.



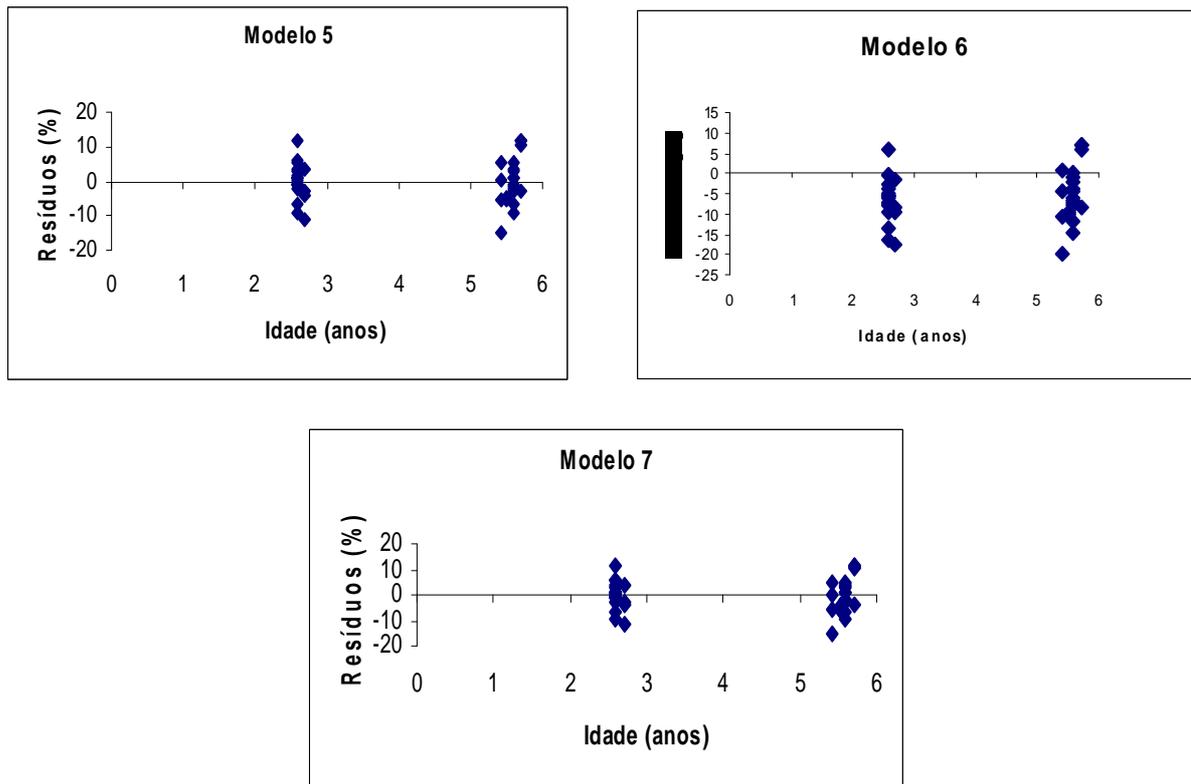


FIGURA 2.1 - RESÍDUO PERCENTUAL EM FUNÇÃO DA IDADE (ANOS), PARA OS 7 MODELOS TESTADOS PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA

É visível perceber que não existem visualmente diferenças significativas entre os gráficos de resíduos dos modelos ajustados, ressaltando o modelo 6, que apresentou uma ligeira tendenciosidade em superestimar os valores observados. Quanto aos outros observou-se que os pontos se distribuem homogeneamente ao longo da linha zero.

Sendo assim, pelo motivo de todas as estatísticas avaliadas dos sete modelos serem muito parecidas, conforme se pode observar nos resultados já apresentados, e os gráfico de resíduos não se diferirem visualmente, levando em consideração a observação feita a respeito do modelo 6, o critério de escolha do melhor modelo baseou-se então na melhor estabilidade, ou seja, a capacidade que o modelo tem de modelar o crescimento dos pares de altura sobre a idade, nos diferentes anos de medição, permanecendo na mesma classe de sítio; ressalta-se que os dados do presente trabalho se restringem apenas a duas medições, fazendo com que as curvas de sítio geradas para o povoamento sejam consideradas provisórias. Sendo assim, o modelo 3 (Chapman & Richards) apresentou uma ligeira superioridade nas

estabilidades. Como as demais estatísticas se diferiram muito pouco entre os modelos ajustados, o modelo 3 foi escolhido para gerar as curvas de sítio.

A escolha do modelo 3 (Chapman & Richards) está em consonância com a literatura. Diversos trabalhos de classificação de sítios desenvolvidos por vários pesquisadores na área florestal o apontaram como um dos modelos de melhor performance para a construção da família de curvas de índice de sítios, podendo citar Figueiredo (2005), trabalhando com plantios de *Tectona grandis* L.f. na microrregião do Baixo Rio Acre; Scolforo e Machado (1988), para *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina.

2.3.2 Limites de classes de Sítio.

Após ser escolhido o melhor modelo foi possível construir os limites inferiores e superiores para as diferentes classes de sítios. Foi adotada a utilização de três diferentes classes de sítios visando uma maior facilidade na estratificação do povoamento, conforme o que foi feito em outros trabalhos já realizados.

A TABELA 2.4 apresenta resultados encontrados, utilizando o modelo selecionado (modelo 3) para que seja possível determinar os limites inferiores e superiores de cada sítio, na idade índice, ou idade de referência (7 anos).

TABELA 2.4 - VALORES ENCONTRADOS PARA O CÁLCULO DOS LIMITES INFERIORES E SUPERIORES NAS DIFERENTES CLASSES DE SÍTIOS NA IDADE ÍNDICE.

DADOS CALCULADOS	VALORES ENCONTRADOS
Maior Fator	1,14
Menor Fator	0,83
Hdom Estimada no sétimo ano (m)	22,46
Limite inferior	18,50
Limite superior	25,60
Amplitude total (m)	7,00
Número de classes de sítios	3,00
Amplitude entre classes (m)	3,00

Uma vez encontrados os valores de menor e maior fator foi possível determinar os limites inferior e superior na idade de referência para as diferentes classes de sítio na idade índice, e seu próprio valor de índice de sítio para cada sítio em questão, conforme mostra a TABELA 2.5

TABELA 2.5 - CLASSES DE SÍTIOS ADOTADA PARA O POVOAMENTO CLONAL DE *Eucalyptus Urophylla* NO MUNICÍPIO DE NIQUELÂNDIA NO ESTADO DE GOIÁS CONSIDERANDO O MODELO DE CHAPMAN & RICHARDS, PELO MÉTODO DA CURVA-GUIA

CLASSES DE SÍTIOS	INTERVALO NA IDADE DE REFERÊNCIA CONSIDERADA (m)	ÍNDICE DE SÍTIO (m)
I	24,0 --- 27,0	25,5
II	21,0 --- 24,0	22,5
III	18,0 --- 21,0	19,5

O método da curva guia demonstrou ser para a base de dados estudada, um procedimento a se considerar, pois quando ajustados os modelos por este procedimento eles apresentaram estatísticas convincentes, com uma distribuição de resíduos sem nenhuma tendenciosidade, ressaltando o modelo 6, e conseguiu gerar uma classificação quase que estável com o modelo selecionado (Chapman & Richards). A figura 2.3 mostra as quatro curvas limites definidas pelos valores da tabela 2.5, que delimitam as 3 classes de sítio (I, II e III).

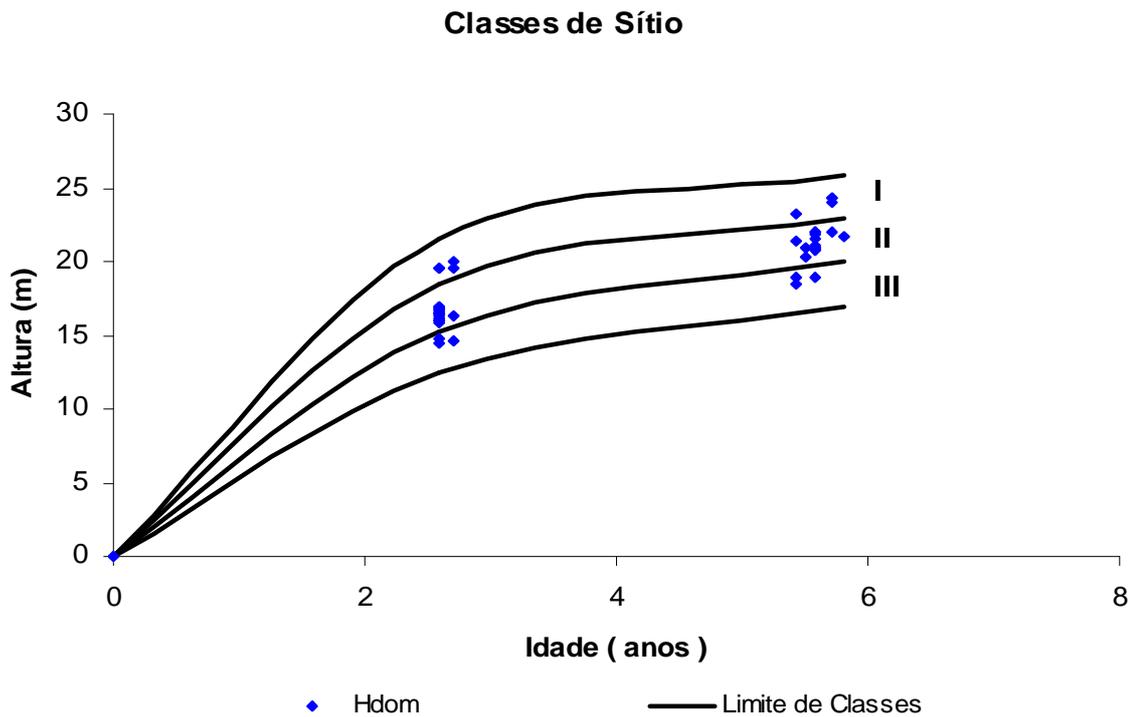


FIGURA 2.3 - CURVAS LIMITE DAS CLASSES DE SÍTIO PARA O POVOAMENTO CLONAL DE *Eucalyptus Urophylla* NO MUNICÍPIO DE NIQUELÂNDIA NO ESTADO DE GOIÁS.

No entanto, vale ressaltar que devido o número baixo de medições, (duas medições), a escolha da idade índice ter sido projetada e a complexidade que é o sítio florestal, as curvas são consideradas provisórias. Outro fato que se deve considerar sobre a classificação dos sítios florestais, e o próprio procedimento adotado, o método da curva guia, por mais que ele seja usado largamente no meio florestal pela maioria das empresas, devido sua facilidade de aplicação, e apresentarem resultados muita das vezes confiáveis.

Porém, vale ressaltar que o conceito de uma mesma taxa de crescimento em altura para sítios distintos que compõem uma mesma família de curvas já demonstrou em alguns casos não representar de forma precisa o crescimento do povoamento florestal, conforme mencionou Scolforo (1997).

2.3.3 Teste de anamorfismo para o modelo selecionado

O teste de anamorfismo foi realizado para o modelo selecionado para gerar as curvas de sítios (Chapman & Richards). Após estabelecer a relação linear entre o índice de sítio e a altura dominante ($S = \beta_0 + \beta_1 H_{dom}$) nas idades em estudo, foi notório a existência de uma alta correlação entre o índice de sítio e a altura das dominantes, em que o coeficiente de correlação (R^2) sempre foi maior que 0,999. A interseção β_0 foi aproximadamente igual a zero para todas as idades, e maiores que 1, para as mesmas conforme se pode observar na TABELA 2.6

TABELA 2.6 - PARÂMETROS ESTIMADOS PARA RELAÇÃO ÍNDICE DE SÍTIO – ALTURA DAS ÁRVORES DOMINANTES PARA DIFERENTES IDADES

IDADES CONSIDERADAS (ANOS)	B ₀	B ₁
2,59	-0,000000000000071	1,43055
2,7	0,000000000000021	1,39781
5,42	-0,000000000000003	1,06322
5,51	-0,000000000000043	1,05851
5,59	0,000000000000031	1,05447
5,71	0,000000000000032	1,04864

Este comportamento deixa Claro que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local, sendo assim as curvas para índice de sítio para o povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla* nas áreas estudadas no município de Niquelândia – Go, tem um padrão anamórfico. A dispersão das observações individuais ao longo da linha de regressão aponta uma relação linear com intercepto zero, como sendo uma suposição válida para a maioria dos casos.

Estudos com diversas espécies também apresentaram o mesmo comportamento, como Figueiredo (2005), trabalhando com plantios de *Tectona grandis* L.f. na microrregião do Baixo Rio Acre; Scolforo e Machado (1988), para *Pinus elliottii* nos estados do Paraná e Santa Catarina, dentre outros trabalhos realizados.

2.4 CONCLUSÕES

O modelo de Chapman & Richards foi escolhido para a construção das curvas de sítio pelo método da curva-guia, devido suas estatísticas de ajuste estarem muito próxima das demais, porém mostrou-se superior no teste de estabilidade das parcelas.

Os resultados obtidos pelo método da curva-guia mostraram-se adequados para a base de dados estudados, porém deve se comentar que nenhum modelo conseguiu estabilidade total.

O teste de anamorfismo para o modelo selecionado demonstrou que as curvas segue um padrão anamórfico, porém, a ausência de observações em todas as faixas de índice de sítio, e a pouca repetição das medições nas parcelas permanentes (duas repetições), pode ter levado a ausência de uma estabilidade total nos modelos.

Os resultados de classes de sítios encontrados para o povoamento em estudo devem ser considerados provisórios, devido a falta de dados mais consistentes (ausência de repetições nas medições) e o próprio fato do povoamento não ter alcançado a idade índice.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre.** 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* e sua Avaliação Econômica.** 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1991.

MACHADO, S.A. et al. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 35, p. 21-37, 1997.

MACHADO, S. do A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* L. na região central do Estado do Paraná. Curitiba. **Revista Floresta**. v.11 ,n.2, p 4 -18, 1980.

SCOLFORO, J.R.S.: **Biometria Florestal: Métodos para classificação de sítios florestais.** Lavras: UFLA/FAEP, 1997. 151p. (textos acadêmicos).

SCOLFORO, J.R.S. ; MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio, para plantações de *Pinus elliottii* nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 112, p. 140-158, jun./dez. 1988.

SCHNEIDER, P.R., BRENA, D.A., FINGER, C.A.G. **Manual para a coleta de informações dendrométricas.** Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1988b. 28p. (Série Técnica n. 8).

SOUZA, A. N. **Estudo econômico da reforma de povoamentos de *Eucalyptus* spp. - o caso do progresso tecnológico.** 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1999.

CAPITULO 3 - DESENVOLVIMENTO DE EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS E VOLUMÉTRICAS PARA ESTIMAR O VOLUME TOTAL E COMERCIAL DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS.

RESUMO

Este estudo foi realizado em povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com uma densidade inicial de aproximadamente 1666 árvores por hectare, (3x2), em propriedade da Empresa Anglo American plc (CODEMIM), localizada no município de Niquelândia, no estado do Goiás. O objetivo foi selecionar modelos volumétricos de simples e dupla entrada para a estimativa do volume total e comercial com e sem casca, bem como equações hipsométricas para estimar a altura total e comercial. No total foram ajustados 16 modelos volumétricos sendo 10 de dupla entrada e 6 de simples entrada, e 5 modelos hipsométricos. A base de dados foi composta por 48 árvores cubadas rigorosamente pelo método de Smalian, para o ajuste dos modelos volumétricos do, modelo hipsométrico, visando a obtenção da altura comercial em função da altura total. As equações selecionadas foram avaliadas com base nos seguintes critérios para sua seleção: Gráfico de resíduos, Erro Padrão da Estimativa (S_{yx}) e Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2). Os resultados apontaram que os modelos de Brenac, para a categoria de simples entrada e o modelo de Takata, para a categoria de dupla entrada foram os modelos selecionados para a estimativa do volume total e comercial com e sem casca. Para a estimativa da altura total, foi selecionado o modelo Trorey, e para altura Comercial em função do DAP e da altura total foi selecionado o modelo de Petterson.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*. Seleção de modelos, Modelos hipsométricos, Modelos volumétricos.

SUMMARY

This study was carried out in a stand of *Eucalyptus urophylla* with initial density of approximately 1666 trees per hectare (3x2 m) in an area of the Anglo American Company plc (CODEMIM), located in the county of Niquelândia, state of Goiás. The objective was to select simple and double entrance volumetric models to estimate total and commercial volume with and without bark, as well as hypsometric equations to estimate total and commercial heights. In total, sixteen volumetric models were adjusted, 10 of them of simple entrance and 6 of them of double entrance as well as 5 hypsometric models. The database was composed of 48 trees that had their absolute volume calculated by the Smalian method to adjust the volumetric models and to adjust hypsometric models aiming to obtain the commercial height using the total height. The selected equations were evaluated using the following criteria: Residual graphic analysis, Standard error of estimate (S_{yx}) and the adjusted Determination Coefficient (R^2). The results showed that the Brenac model for the simple entrance category and the Takata model for double entrance were selected to estimate total volume with and without bark. The Trorey model was selected for the estimation of total height and the Petterson model was selected for estimation of merchantable height using DBH and total height.

Key words: *Eucalyptus urophylla*. Selection of Models. Hypsometric models. Volumetric models.

3.1 INTRODUÇÃO

Nos estudos florestais, um dos principais objetivos é a obtenção de estimativas de volume total e comercial com e sem casca, sendo para isso muito utilizado as equações de volume comerciais ou totais, ajustadas de forma independente. Elas servem para estimar volumes individuais de árvores e, com base num procedimento de amostragem realizado em campo, utilizando unidades amostrais (parcelas), chega-se à estimativas de volume por parcelas, podendo em seguida ser extrapolado para o hectare e, por fim, para toda a população em estudo.

O procedimento de maior uso na estimativa do volume individual é o emprego de equações em que o volume é a variável dependente, associado a variáveis independentes de fácil mensuração na floresta, como o diâmetro à altura do peito e a altura (Machado *et al.*, 2002). Existem diversos modelos volumétricos consagrados no meio florestal desenvolvidos para a obtenção da variável volume, os quais são ajustados para cada caso específico, gerando uma equação volumétrica, e essa quando oferece boas estatísticas é capaz de captar as variações do povoamento florestal e ao mesmo tempo estimar de forma confiável, dentro de um erro admissível o volume presente da população. Assim como existem modelos para estimar a variável volume, existem também para a estimativa da variável altura. Geralmente os modelos para estimativa do volume que leva em consideração a variável altura e diâmetro são superiores, aos modelos que levam em consideração apenas o diâmetro. Como a obtenção da altura é uma atividade demorada, implicando em custos mais elevados nos inventários florestais, é prática usual medir-se algumas alturas em campo e depois ajustar-se modelos em função do diâmetro para estimar as demais.

Com base no mencionado, o objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos hipsométricos e volumétricos envolvendo:

- Testes de seis modelos de simples entrada para a obtenção do volume total e comercial com e sem casca
- Testes de dez modelos volumétricos de dupla entrada, para a obtenção do volume total e comercial com e sem casca;
- Testes de cinco modelos hipsométricos (altura em função do DAP), para a obtenção da altura total e comercial.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

As equações de volume e as relações hipsométricas foram ajustadas para um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, cujas características são descritas no item 2.2.2 do capítulo 2.

O plantio está localizado no município de Niquelândia, situado na região norte do estado de Goiás, constituindo-se de um povoamento clonal de *Eucalyptus urophylla*, plantado em Novembro de 2001. A densidade inicial do povoamento foi de 1666 árvores.ha⁻¹ (espaçamento de 3X2 metros).

Na Tabela 3.1 encontra-se a caracterização do povoamento estudado, com base em dados advindos do inventário florestal contínuo com 21 parcelas permanentes de 480 m².

TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICA DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* ESTUDADO

CARACTERÍSTICAS	ÁREA
Denominação	Horto Aranha
Localização	Niquelândia
Solos	Latossolo Vermelho-Amarelo
Material genético	Clones de <i>Eucalyptus urophylla</i>
Área	243 hectares
Altitude	535 (m)
Idade	5 (anos)
DAP médio	11,3 (cm)
Altura Média	19,8 (m)
Nº de árvores inventariada por ha	1550
Área Basal (por hectare)	15,66 (m ²)
Altura dominante	21,5 (m)
Dmin	5,0 (cm)
Dmax	18,62 (cm)

Foram medidos os diâmetros (DAP), de todas as árvores que compunham as 21 parcelas, juntamente com a altura das 15 primeiras árvores medidas em cada parcela, mais a altura das cinco árvores dominantes pelo princípio de Assmann.

3.2.2 Cubagem rigorosa

As árvores cubadas rigorosamente foram escolhidas baseando-se na distribuição diamétrica do povoamento; as classes de diâmetro adotadas com DAP mínimo de 5 cm e amplitude de classe com as respectivas freqüências de árvores cubadas por classe se encontram na Tabela 3.2

TABELA 3.2 - FREQUÊNCIA DE ÁRVORES CUBADAS PARA O POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS UROPHYLLA*, NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETROS ADOTADAS

Nº DA CLASSES	INTERVALO DE CLASSES	Nº DE ÁRVORES CUBADAS
1	5 --- 10	19
2	10 --- 15	19
3	15 --- 20	10
Total		48

As árvores cubadas foram selecionadas nas proximidades das parcelas permanentes. Para cada árvore amostrada foram realizadas medições da altura total (h), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura comercial até o diâmetro mínimo de 3 cm, e também foi medida a espessura da casca em todas as posições de diâmetro medidos ao longo do fuste. Os diâmetros foram medidos nas alturas (m) 0,10, 0,70, 1,30, 2,00, 4,00, e assim sucessivamente até atingir a altura comercial estabelecida (3cm). Com a tomada de diâmetro nas referidas alturas absolutas optou-se pelo método de Smalian, para calcular os volumes, conforme descrito por Husch et al. (1982).

Com o procedimento da cubagem rigorosa foi possível obter os volumes totais e comerciais, tanto com casca como sem casca para cada indivíduo.

3.2.3 Ajuste das relações hipsométrica nas estimativas da altura.

Com as alturas obtidas das 15 primeiras árvores medidas em cada parcela e mais a altura das árvores dominantes pelo princípio de Assmann, foram ajustados 6 modelos hipsométricos para estimar as alturas das demais árvores, nas quais foram medidos apenas seu DAP em cada parcela. A Tabela 3.3 mostra os modelos testados. Nestes modelos as variáveis dependentes considerada foram a altura total e a altura comercial, e a variável independente o DAP e suas variações.

TABELA 3.3 - MODELOS HIPSONÉTICOS AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DA VARIÁVEL ALTURA TOTAL E ALTURA COMERCIAL.

AUTOR	MODELO
Não referenciado	$ht = \beta_0 + (\beta_1 dap)$
Trorey	$ht = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Stoffels	$Lnht = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \varepsilon$
Curtis	$Lnht = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap} + \varepsilon$
Petterson	$Lnht = \left(\frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{dap}} \right)^3 + \varepsilon$
Prodan	$ht = \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2} + \varepsilon$

3.2.4 Ajuste dos modelos volumétricos

Com o volume advindo das 48 árvores, cubadas rigorosamente pelo método de Smalian foram ajustados os modelos volumétricos de simples entradas (Tabela 3.4) e dupla entrada (Tabela 3.5), visando encontrar um modelo que estime de forma confiável o volume individual total e comercial de cada árvore. .

TABELA 3.4 - MODELOS VOLUMÉTRICOS DE SIMPLES ENTRADA AJUSTADOS.

AUTOR	MODELO
Kopezky-Gehhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \varepsilon$
Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Hohenadl-Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$
Berkhout	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} + \varepsilon$
Husch	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \varepsilon$
Brenac	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Lndap + \beta_2 \frac{1}{dap} + \varepsilon$

TABELA 3.5 - MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA AJUSTADOS.

AUTOR	MODELO
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 ht + \varepsilon$
Schumacher-Hall	$V = \beta_0 dap^{\beta_1} ht^{\beta_2} + \varepsilon$
Honner	$V \frac{dap^2}{\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{ht}} + \varepsilon$
Ogaya	$V = dap^2 (\beta_0 + \beta_1 ht) + \varepsilon$
Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 ht + \beta_3 ht + \varepsilon$
Naslund	$V = \beta_1 dap^2 + \beta_2 dap^2 ht + \beta_3 dapht^2 + \beta_4 ht^2 + \varepsilon$
Takata	$V = \frac{dap^2 ht}{\beta_0 + \beta_1 dap} + \varepsilon$
Spurr (log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(dap^2 ht) + \varepsilon$
Schumacher-Hall (log)	$LnV = \beta_0 + \beta_1 * Ln(dap) + \beta_2 * Ln(ht)$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \beta_3 dapht + \beta_4 dap^2 ht + \beta_5 ht + \varepsilon$

A partir da obtenção da equação volumétrica podem ser estimados os volumes individuais totais e comerciais das árvores das parcelas, os volumes das parcelas do povoamento.

3.2.5 Escolha dos melhores modelos

A seleção do melhor modelo que foi analisada pelas seguintes estatísticas com suas respectivas ordens de importância:

- a) Análise gráfica dos resíduos (%);
- b) Erro padrão da estimativa (syx) na escala da variável dependente e em percentagem ($syx\%$), sendo que quanto mais próximo de zero melhor, pois ele indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados;
- c) Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}); quanto mais próximo de 1 melhor será, pois ele mostra o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas independentes;
- d) Índice de ajuste de Schlaegel (I.A), que calcula o R^2 para a variável de interesse (hdom).

O R^2_{aj} foi obtido pela 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:

SQres. = soma de quadrados do resíduo

SQtotal = soma de quadrados total

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

O Erro padrão da Estimativa (Sy_x), foi obtido através da seguinte fórmula:

$$syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n-p}} \quad syx\% = \frac{syx}{Y_m} * 100$$

Onde:

syx = erro padrão da estimativa (m)

$syx\%$ = erro padrão da estimativa em porcentagem

Y_i = Altura dominante observada

Y_e = altura dominante estimada

Y_m = Altura dominante média observada

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

Os modelos nos quais a variável dependente sofreu transformação, deve-se recalcular o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa. Sendo assim, o índice de ajuste de Schlaegel (I.A) tem essa finalidade de retransformar a variável que sofreu transformação. Para a aplicação do índice de ajuste de Schlaegel (I.A) tem-se a seguinte fórmula:

$$I.A. = 1 - \frac{S.Q.res.}{S.Q.total}$$

onde:

I.A = Índice de ajuste de Schlaegel

S.Q.res. = Soma de quadrados dos resíduos

S.Q.total = Soma de quadrados total.

As equações matemáticas, que encontra-se na escala logarítmica, fornecem posteriormente o logaritmo da variável de interesse, sendo assim, se torna necessário calcular o ante-logaritmo desta variável para se obter os valores na sua forma real. Porém, na realização deste procedimento, existe um erro conhecido como discrepância logarítmica que geralmente subestima a variável estimada. Para minimizar esta discrepância foi utilizado um fator que consegue resolver este problema, conhecido como Fator de correção de Meyer (Fm), para modelos que usam a base natural. A formula para o Fator de Meyer é a seguinte:

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

Onde:

e = base do logaritmo natural;

Q.M.res = quadrado médio dos resíduos

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Ajuste dos modelos hipsométricos para estimativa da altura total

Na Tabela 3.6, estão os resultados dos modelos hipsométricos ajustados para a estimativa da variável altura total com suas estatísticas de ajuste e precisão.

TABELA 3.6 - RESULTADO DOS COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS MODELOS HIPSONÉTICOS TESTADOS COM SUAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO

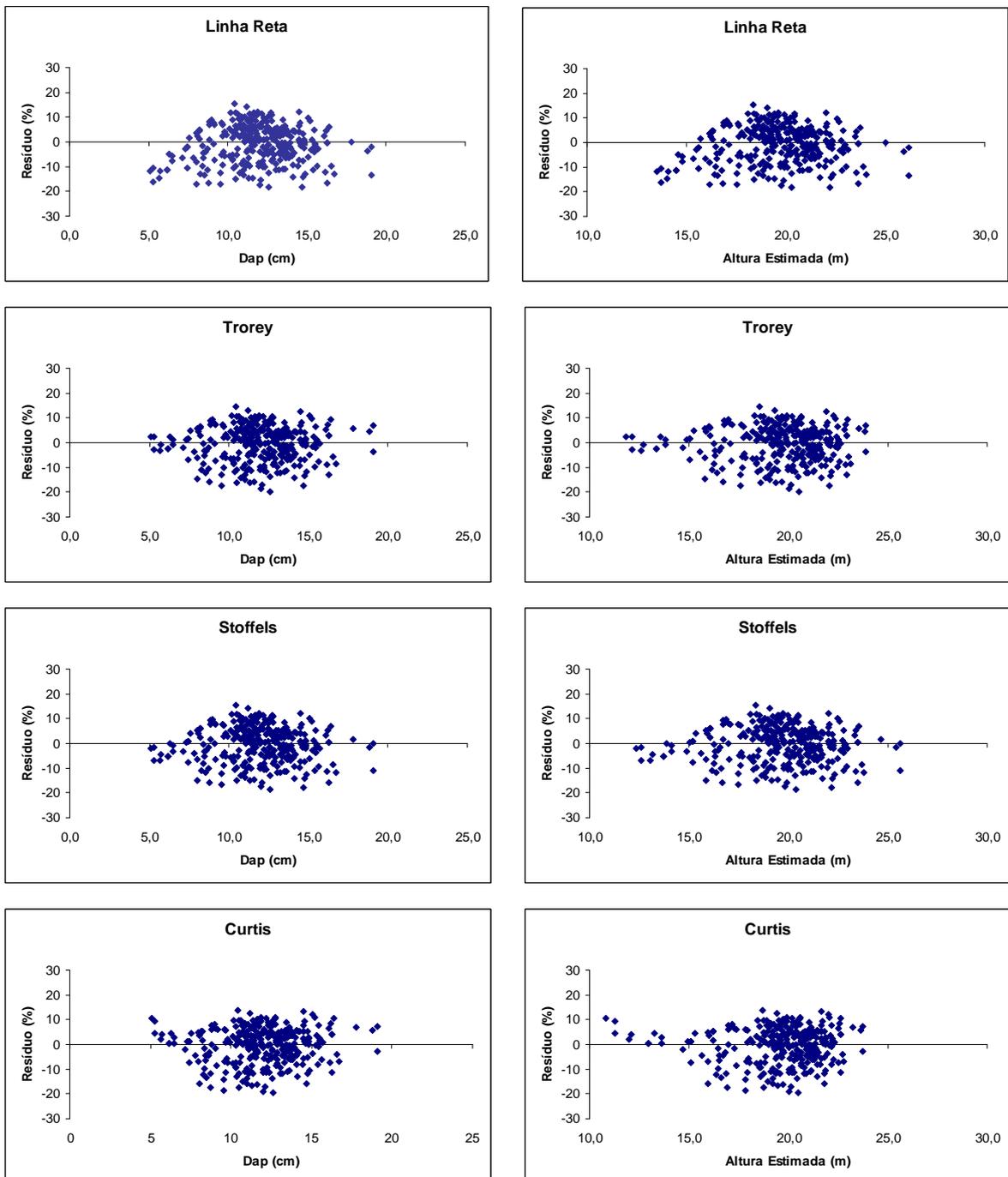
AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS	syx(m)	syx (%)	R ² .ajus
Linha Reta	$ht = 8,896442102 + (0,90516133dap)$	1,37	6,93	0,7115
Trorey	$ht = 2,9604022 + (1,96985dap) + (-0,045685(dap^2))$	1,20	6,40	0,7358
Stoffels	$\ln ht = 1,6141152 + (0,552352547 \ln(dap))$	1,33	6,74	0,7597
Curtis	$\ln ht = 3,4537280262 + (-5,475369 \left(\frac{1}{dap} \right))$	1,32	6,66	0,7619
Petterson	$ht = \frac{1}{\left(0,305767 + \left(\frac{0,70218472}{dap} \right) \right)^3}$	1,45	7,36	0,6750
Prodan	$ht = \frac{dap^2}{\left(0,323807 + (0,245489dap) + (0,0272581dap^2) \right)}$	1,32	6,66	0,7365

Conforme pode observar-se na Tabela 3.6 os modelos apresentam estatísticas de ajustes e precisão muito semelhantes, exceto o modelo de Petterson que difere um pouco dos demais. Porém vale ressaltar que de acordo com vários pesquisadores, em se tratando de ajustes hipsométricos, todos os modelos apresentam estatísticas consideradas aceitáveis, uma vez sabido que a relação altura sobre diâmetro não é tão forte, como o volume e o diâmetro. Sendo assim, os resultados encontrados, tanto para o R².aj, como para syx (m) na escala da variável e em porcentagem syx(%), para todos os modelos estão dentro do aceitável, com os quais estimativas podem ser encontradas com valores aceitáveis.

Sabendo-se da importância da análise dos resíduos a Figura 3.1 mostra os gráficos da dispersão das diferenças dos valores estimados com os observados,

podendo, assim, detectar se existe tendenciosidade na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão.

Segundo SCHNEIDER *et al.* (1988a), a escolha da melhor equação de volume deve ser isenta de critérios pessoais, devendo ser baseada nos valores calculados de coeficiente de determinação, erro padrão residual, distribuição uniforme dos valores residuais.



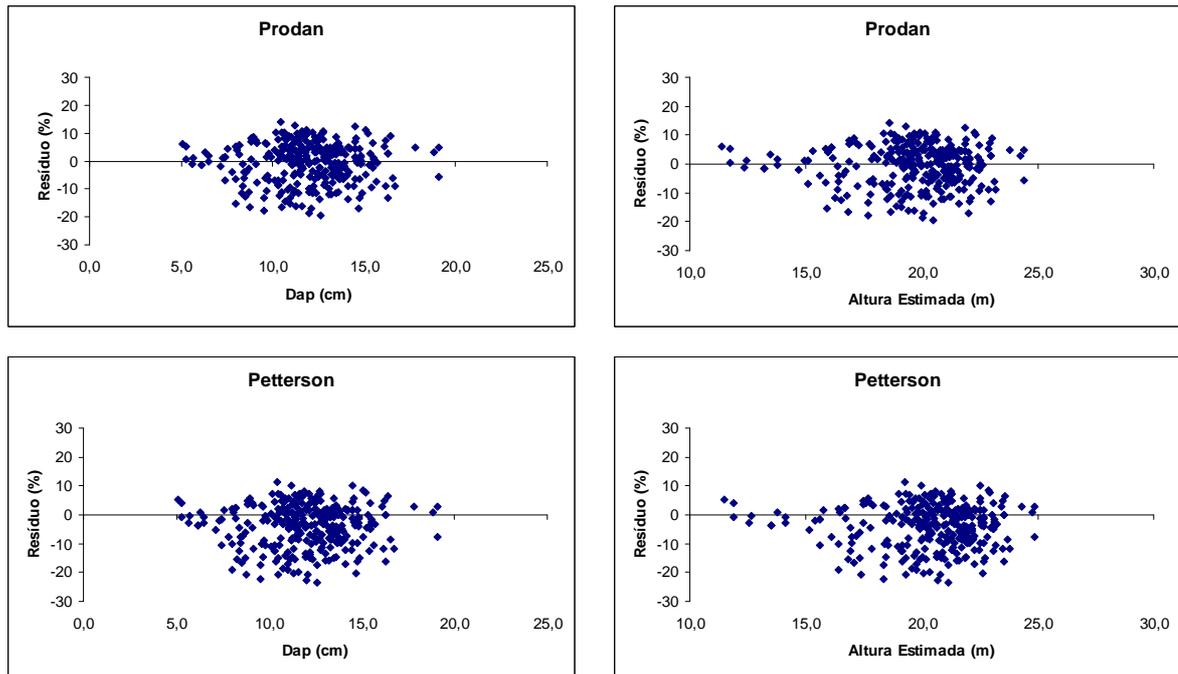


FIGURA 3.1 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS SEIS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS, CONSIDERANDO O CONJUNTO DE DADOS DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA TOTAL.

Ao analisar os gráficos de dispersão dos resíduos, o modelo de Petterson apresenta tendenciosidade em superestimar os valores estimados, ao longo da linha de regressão, confirmando, com suas demais estatísticas já apresentadas, como sendo o pior dos modelos ajustados para a referida base de dados. Essa tendenciosidade de subestimativa dos valores estimados, também é observado no modelo de Linha Reta e Stoffels, principalmente nos menores diâmetros. Já os modelos de Prodan e Curtis tem dificuldade para estimar as alturas das árvores de menores diâmetros, levando a uma subestimação da variável considerada. Por outro lado, o modelo de Trorey apresentou uma maior uniformidade na distribuição dos resíduos. Este modelo também já tinha apresentado o menor erro padrão da estimativa, com isso se mostrou ligeiramente superior aos demais para a estimativa da altura total para o referido povoamento estudado.

3.3.1.1 Ajuste dos modelos hipsométricos para estimativa da altura Comercial em função do DAP

A altura comercial é um termo relativo, pois depende do interesse das empresas ou do ponto de vista do manejador florestal. Sendo assim, neste trabalho foi considerada altura comercial como sendo a altura da base até um diâmetro mínimo de 4 cm. Esta escolha faz parte da realidade da empresa.

Na tabela 3.7, estão os resultados dos modelos hipsométricos ajustados para a estimativa da altura comercial, em função do DAP, com suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão

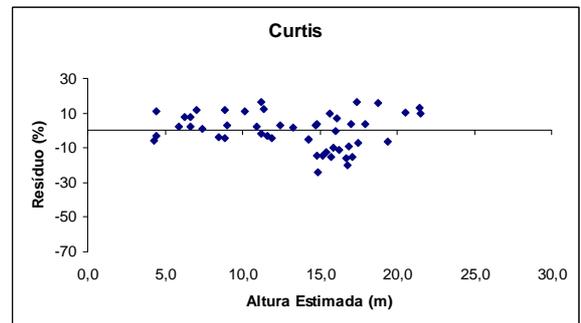
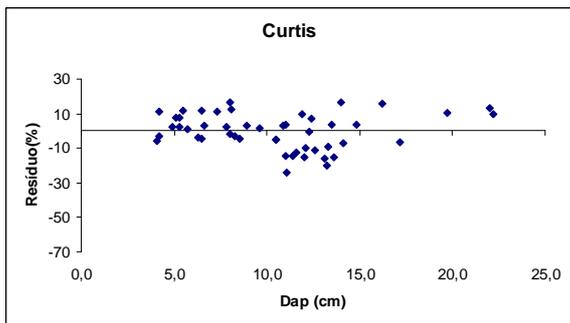
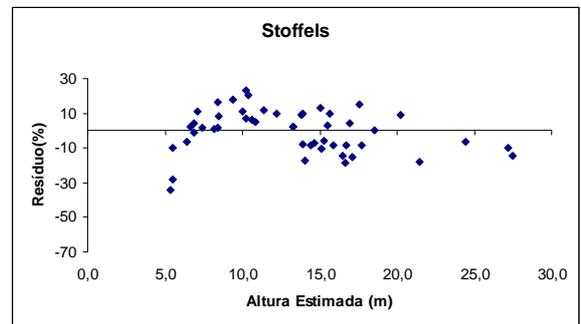
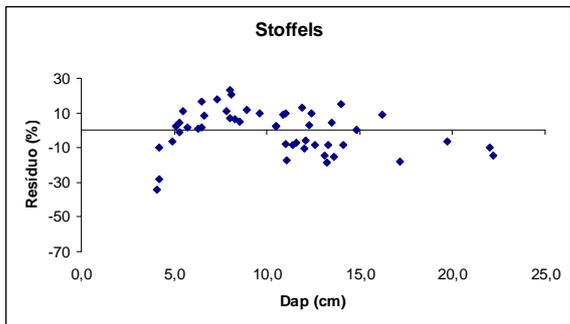
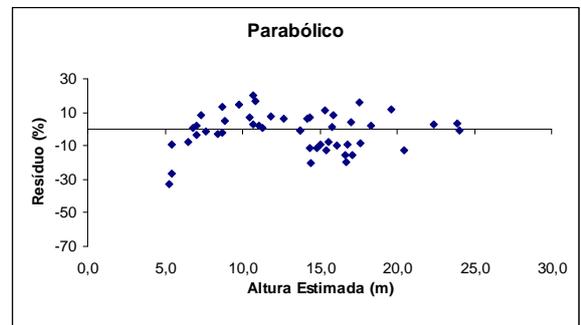
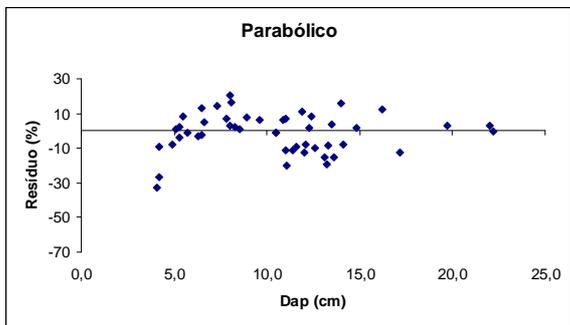
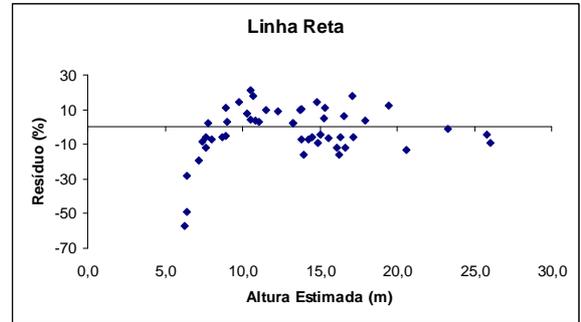
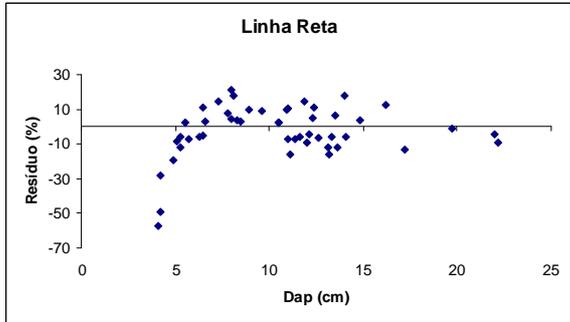
TABELA 3.7 - RESULTADO DOS COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS MODELOS HIPSOMÉTRICOS TESTADOS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA COMERCIAL EM FUNÇÃO DO DAP, COM SUAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO

AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS	syx (m)	syx (%)	R ² .ajus
Linha Reta	$ht = 1,8236440089 + (1,090078895dap)$	1,52	11,60	0,908
Trorey	$ht = -1,1596108689 + (1,676688982dap) + (-0,02441(dap^2))$	1,40	10,66	0,922
Stoffels	$\ln ht = 0,31811128 + (0,9658415 \ln(dap))$	1,61	12,28	0,912
Curtis	$\ln ht = 3,4389962103 + (-8,17840871 \left(\frac{1}{dap} \right))$	1,50	11,45	0,947
Petterson	$ht = \frac{1}{\left(0,292136963 + \left(\frac{1,277351}{dap} \right) \right)^3}$	1,41	10,73	0,921
Prodan	$ht = \frac{dap^2}{(0,932081986 + (0,4808722dap) + (0,01813245dap^2))}$	1,33	10,56	0,924

A Tabela 3.7 revela que os modelos de Prodan, Trorey e Petterson, apresentaram os menores erros padrões da estimativa, enquanto que o modelo de Stoffels o pior. Ao analisar o coeficiente de determinação o modelo de Curtis apresentou superior aos demais, porém como essa estatística não pode ser analisada sozinha, ele perde essa superioridade.

A Figura 3.2, mostra os gráficos da dispersão das diferenças dos valores estimados com os observados, podendo assim detectar se existe tendenciosidade

na estimativa da variável dependente ao longo da linha de regressão nos diferentes modelos ajustados.



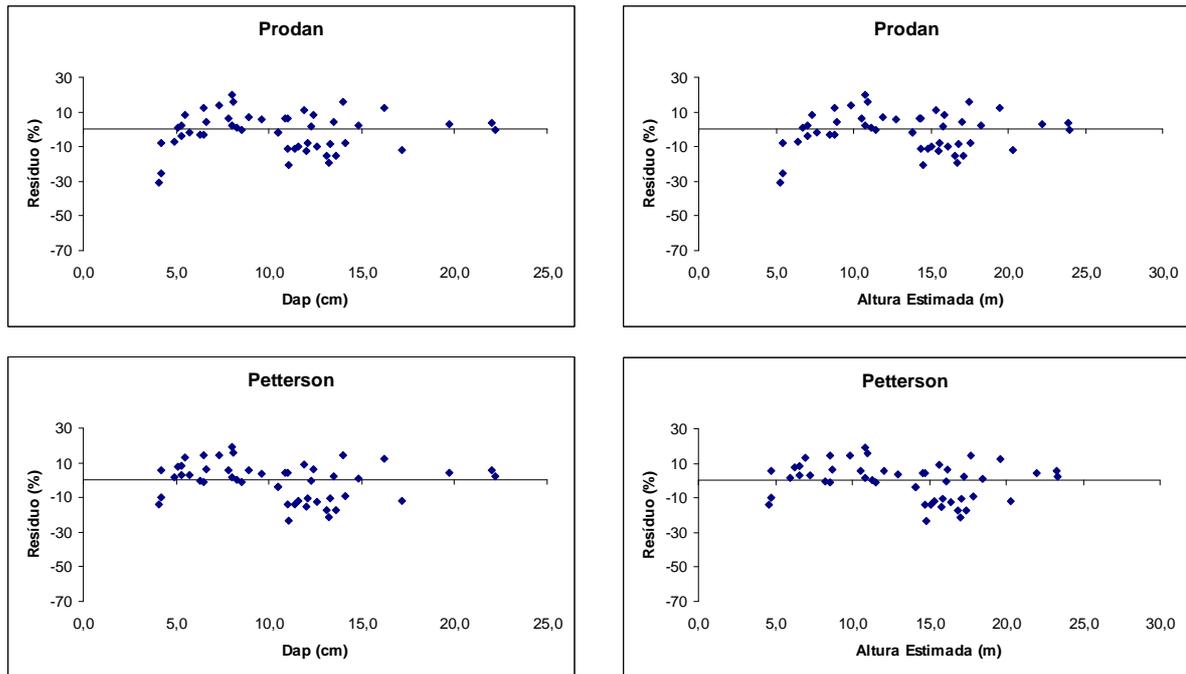


FIGURA 3.2 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS SEIS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS.

Analisando os gráficos de dispersão, o modelo da Linha reta apresenta as piores distribuição dos resíduos com uma tendenciosidade em superestimar os valores nos menores diâmetros; essa tendenciosidade também é vista de forma mais branda nos modelos de Stoffels, Trorey, e Prodan. Nos modelos de Curtis e Petterson, essa tendência não é vista, porém, o modelo de Curtis para a classe de maiores diâmetros apresenta uma maior subestimativa da altura comercial que o modelo de Petterson, e também, como já visto na Tabela 2.9, o modelo de Curtis apresenta um erro padrão da estimativa superior ao de Petterson. Sendo assim, as estatísticas de precisão levou à escolha do modelo de Petterson como sendo superior aos demais para a estimativa da altura comercial em função do DAP, para o referido povoamento estudado.

3.3.1.2 Ajuste dos modelos para estimativa da altura Comercial em função da altura total

A altura comercial determinada no presente trabalho (diâmetro mínimo de 4cm) é de difícil obtenção em campo, praticamente impossível de ser medida de forma

indireta. Sendo assim, é muito mais fácil e prático obter a altura total, e em função dessa estimar a altura comercial. A Figura 3.3 mostra que existe uma alta correlação entre essas variáveis

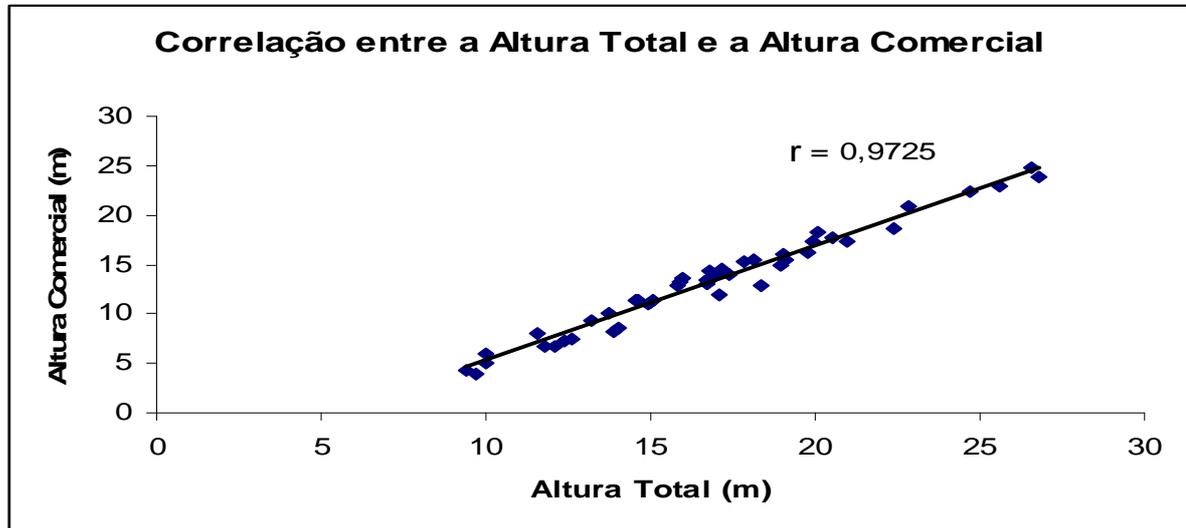


FIGURA 3.3 - CORRELAÇÃO SIMPLES (r) ENTRE A ALTURA COMERCIAL, E A ALTURA TOTAL.

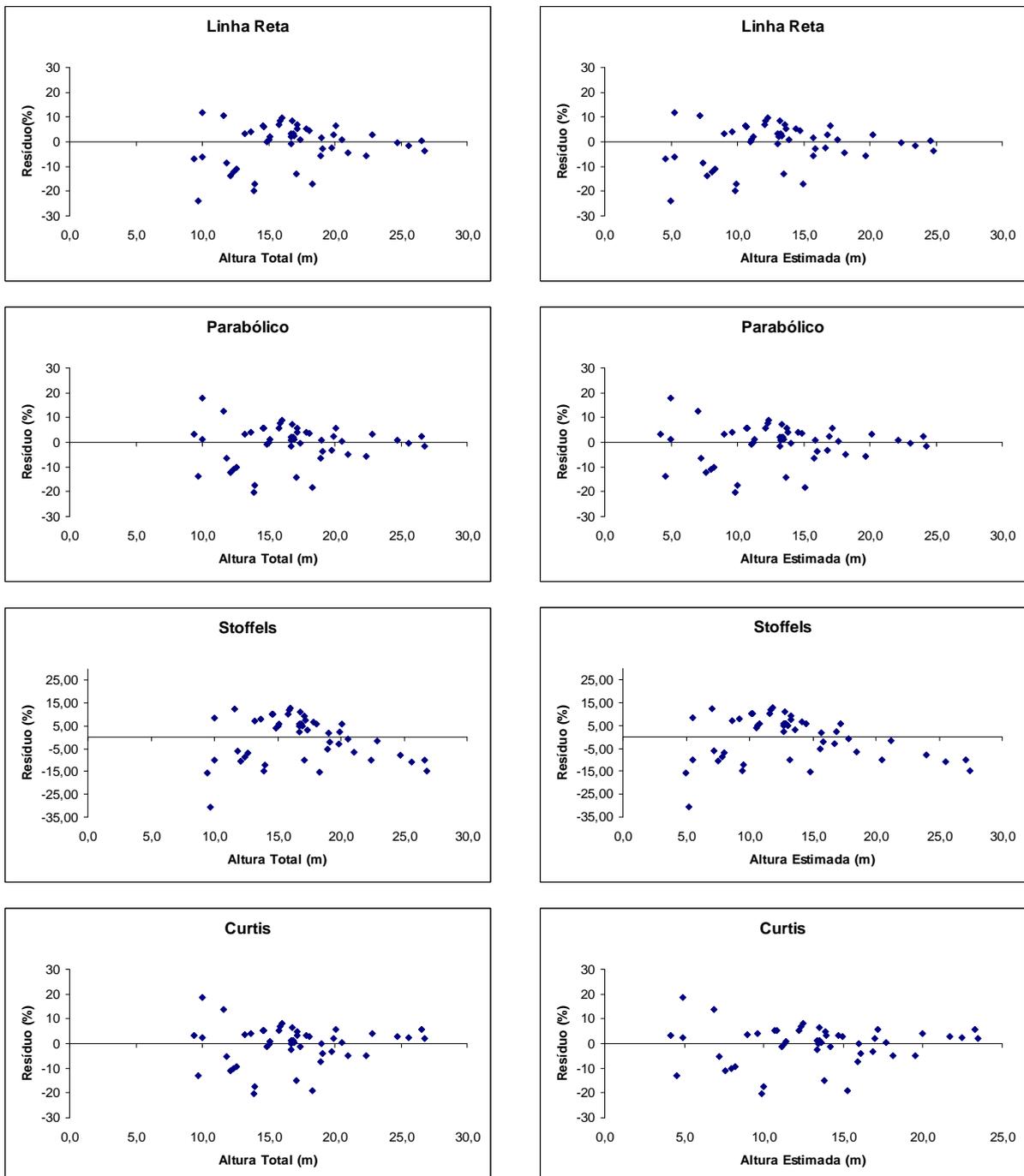
Sabendo-se que existe uma alta correlação entre essas duas variáveis foram ajustados modelos hipsométricos para estimar a altura comercial em função da altura total. Na tabela 3.8, estão os resultados dos modelos ajustados para estimar da altura comercial, em função da altura total juntamente com suas estatísticas de ajuste e precisão.

TABELA 3.8 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA A ESTIMATIVA DA ALTURA COMERCIAL EM FUNÇÃO DA ALTURA TOTAL.

AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS	syx (m)	syx (%)	R ² ajus
Linha Reta	$htcom = -6,31272361 + (1,16120999ht)$	0,83	6,30	0,971
Trorey	$htcom = -8,843285388 + (1,4635078ht) + (-0,0085034(ht^2))$	0,81	6,17	0,973
Stoffels	$\ln htcom = -2,0538527 + (1,6320048 \ln(ht))$	1,22	9,24	0,950
Curtis	$\ln htcom = 4,088973003 + (-25,05647067 \left(\frac{1}{ht}\right))$	0,83	6,30	0,967
Petterson	$htcom = \frac{1}{\left(0,198333 + \left(\frac{3,868115719}{ht}\right)\right)^3}$	0,85	6,45	0,961
Prodan	$htcom = \frac{ht^2}{\left(20,78567207 + (-0,49855568ht) + (0,0312364544ht^2)\right)}$	0,83	6,31	0,971

A Tabela 3.8 revela que os modelos ajustados apresentam estatísticas de ajustes e precisão semelhantes exceto o modelo de Stoffels, que se mostrou inferior aos demais, resultado este já visto na estimativa da própria altura comercial, porém em função do DAP, o que demonstrou que este modelo não foi apropriado para estimar a altura comercial para a referida base de dados.

Na Figura 3.4 encontra-se os gráficos da dispersão dos resíduos, mostrando o erro em porcentagem da variável estimada.



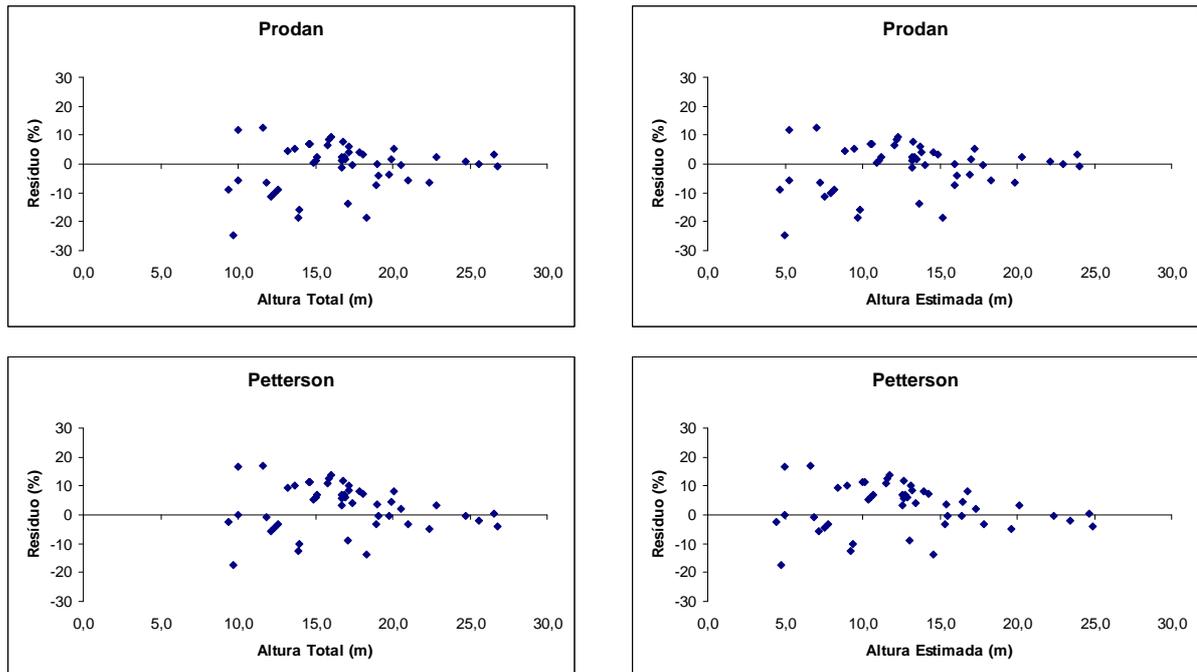


FIGURA 3.4 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DA ALTURA TOTAL E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS SEIS EQUAÇÕES HIPSOMÉTRICAS AJUSTADAS.

Analisando os gráficos de dispersão dos resíduos, verifica-se que os modelos de Curtis e Petterson apresentam-se superiores aos demais, resultados estes já vistos na Figura 3.5, em que dois modelos apresentaram melhor distribuição dos resíduos para a mesma estimativa, (altura comercial), em função do DAP. O modelo de Petterson se tornou ligeiramente superior, devido a uma possível subestimação do modelo de Curtis nas alturas maiores. Sendo assim, após analisar todas as estatísticas de ajuste e precisão, juntamente com o gráfico de dispersão dos resíduos, o modelo de Petterson apresenta as estatísticas mais concisas, tornando-o superior aos demais para a estimativa da altura comercial em função da altura total, mantendo-se superior aos demais, como ocorrido em função do DAP.

3.3.2 Ajuste dos modelos volumétricos

3.3.2.1 Ajustes dos modelos Volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume total e comercial, com e sem casca.

Foram ajustados seis modelos de simples entrada para a obtenção dos volumes total e comercial, com e sem casca. Na Tabela 3.9, estão os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume total.

TABELA 3.9 - EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL COM CASCA

AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Kopezky-Gehhardt	$V_t = -0,0100700035 + (0,0004182741(dap^2))$
Dissescu-Meyer	$V_t = (-0,0021189638dap) + (0,0005119773(dap^2))$
Hohenadl-Krenm	$V_t = 0,0102454666 + (-0,0039880002dap) + (0,000588142(dap^2))$
Berkhout	$V_t = 0,000098211(dap^{2,483898419})$
Husch	$LnV_t = -9,3518931276 + (2,5269621499 \ln(dap))$
Brenac	$LnV_t = -9,0329234162 + (2,42875255 \ln(dap)) + (-0,84018 \left(\frac{1}{dap}\right))$

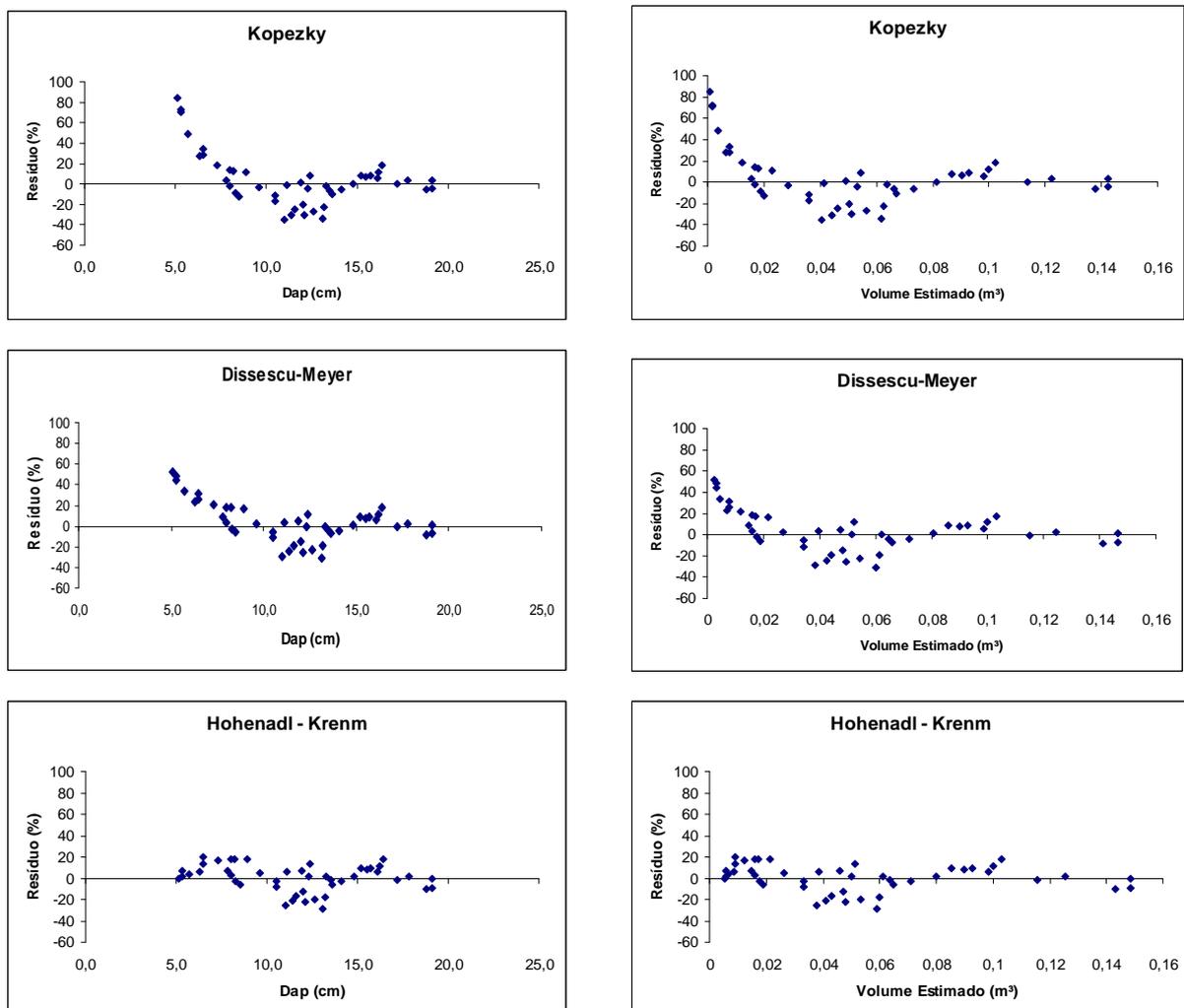
A Tabela 3.10 mostra as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume total, em função do DAP.

TABELA 3.10: ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL EM FUNÇÃO DO DAP

MODELOS	syx (m)	syx (%)	R ² ajustado
Kopezky-Gehhardt	0,00720	14,49	0,9706
Dissescu-Meyer	0,00669	13,36	0,9753
Hohenadl-Krenm	0,00651	13,13	0,9753
Berkhout	0,00667	13,31	0,9747
Husch	0,00670	13,37	0,9898
Brenac	0,00670	13,37	0,9898

Conforme apresentado na Tabela 3.10 a equação de Husch e a equação de Brenac apresentaram um alto valor para o coeficiente de determinação ajustado igual a 98,98%. Estes bons resultados também apareceram no erro padrão da estimativa ($s_{yx}\%$), 13,37 e 13,50 %, porém a equação de Hohenadl-Krenm apresentou um erro ainda menor (13,13%), mesmo não tendo um coeficiente de determinação igual às outras duas mencionadas. Este mesmo fato também foi verificado nas equações de Berkhout e Meyer. Os piores resultados foram apresentados pelo modelo de Kopezky-Gehhardt para estimar o volume total em função do DAP.

A seleção do melhor ajuste para estimar o volume total foi realizado com o auxílio da distribuição gráfica dos resíduos percentuais, conforme a Figura 3.5.



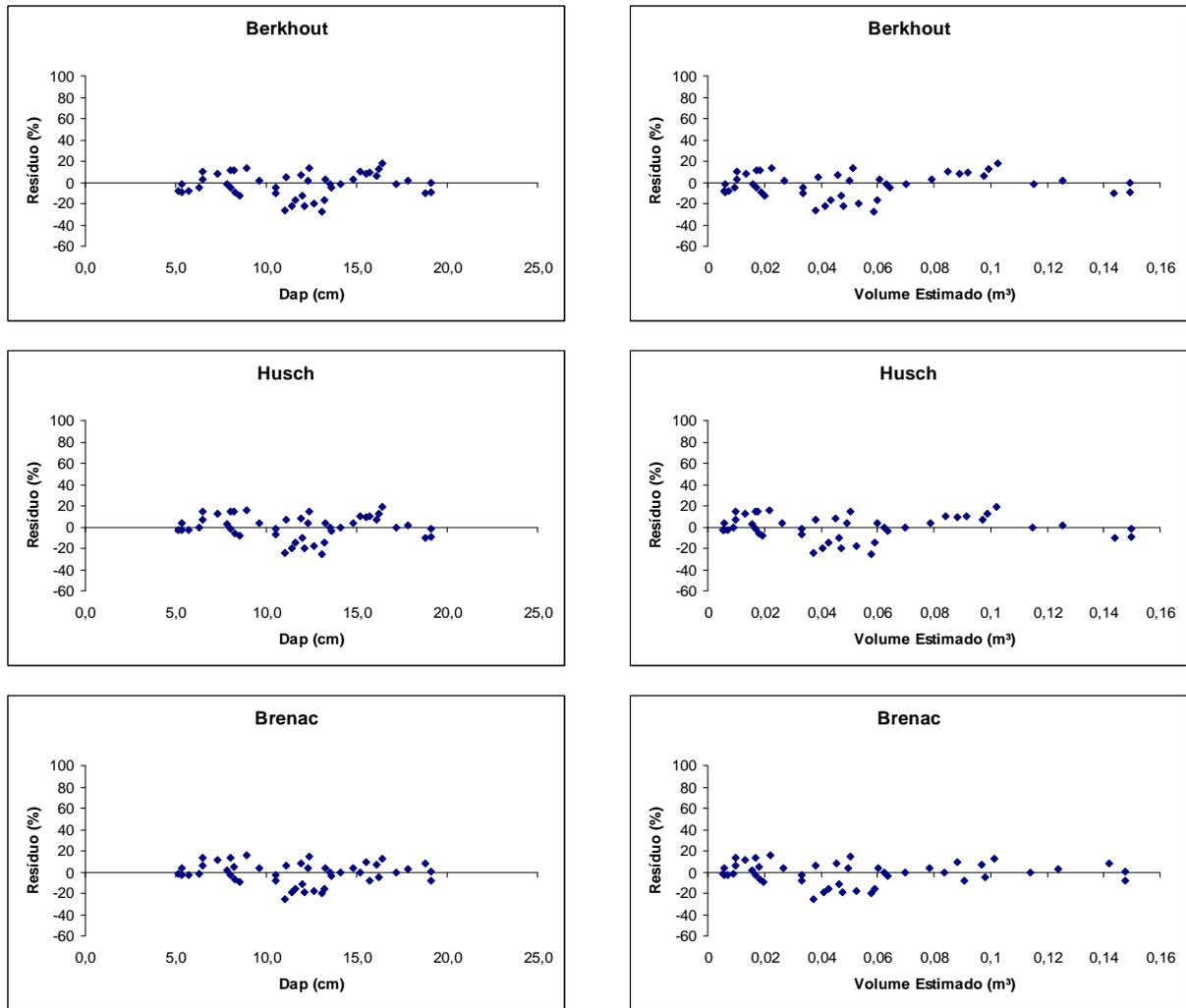


FIGURA 3.5 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS SEIS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA TESTADAS.

Para os modelos de Kopezky-Gehrhardt e Dissescu-Meyer é notório uma clara tendência de subestimativa para as árvores de menores diâmetros, enquanto que o modelo de Hohenadl-Krenm apresentou ligeira tendência em superestimativa para estas mesmas condições. Essa pequena tendência é vista também nos modelos de Berkhout, Husch e Brenac, porém de uma forma mais branda. Após uma minuciosa análise nos gráficos de resíduos juntamente com as estatísticas apresentadas na Tabela 3.10, o modelo de Brenac apresentou os melhores resultados para a estimativa do volume total com casca.

Na Tabela 3.11 estão os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume total sem casca.

TABELA 3.11 – EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL SEM CASCA

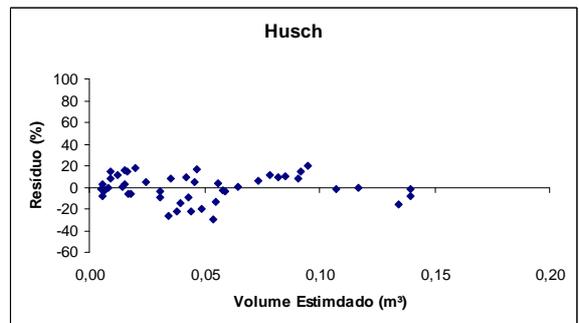
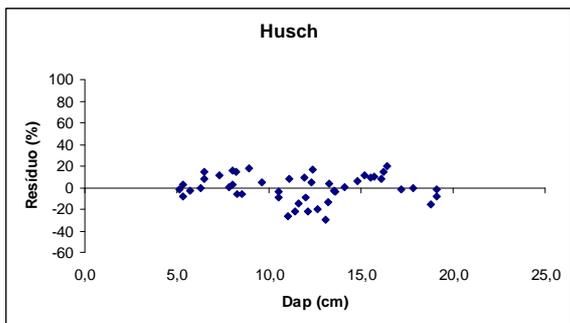
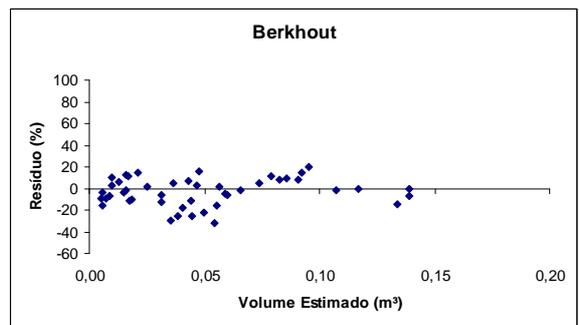
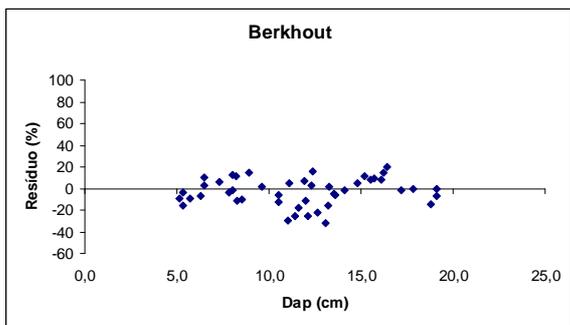
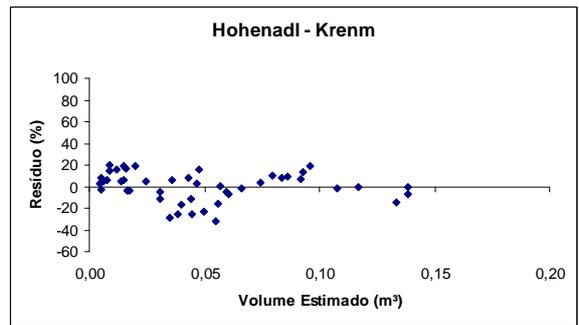
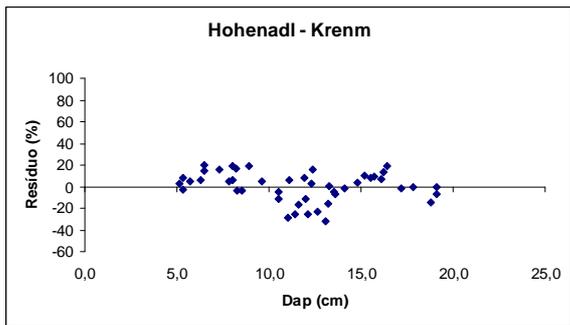
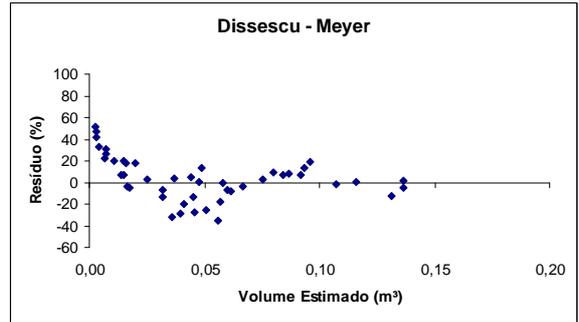
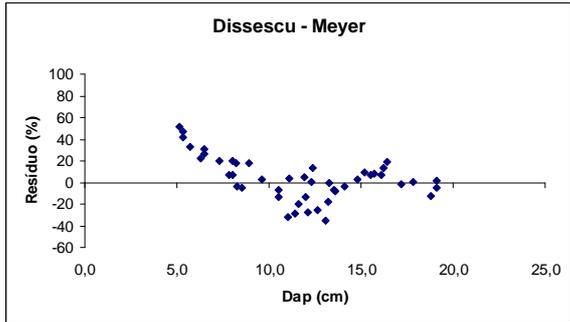
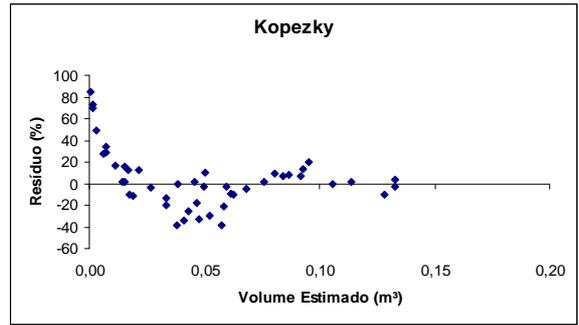
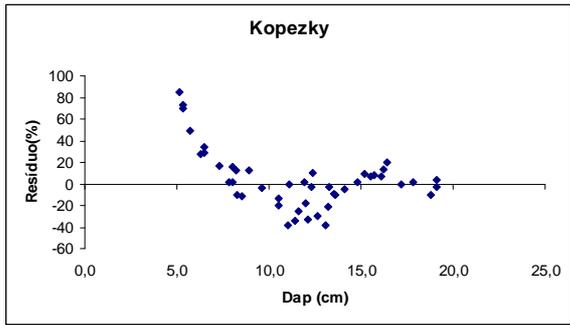
AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Kopezky-Gehhardt	$V_t = -0,0094212322 + (0,0003895146(dap^2))$
Dissescu-Meyer	$V_t = (-0,001974897dap) + (0,0004766763(dap^2))$
Hohenadl-Krenm	$V_t = 0,0090413482 + (-0,0036242713dap) + (0,00054389(dap^2))$
Berkhout	$V_t = 0,0000924698(dap^{2,48009575152})$
Husch	$LnV_t = -9,4520599902 + (2,5372482696ln(dap))$
Brenac	$LnV_t = -6,282680767 + (1,805455926Ln(dap)) + (-6,7985086894\left(\frac{1}{dap}\right))$

A Tabela 3.12 mostra as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume total sem casca, em função do DAP.

TABELA 3.12 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL SEM CASCA EM FUNÇÃO DO DAP

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado (%)
Kopezky-Gehhardt	0,0073	15,72	0,9649
Dissescu-Meyer	0,0068	14,71	0,9872
Hohenadl-Krenm	0,0067	14,57	0,9698
Berkhout	0,0068	14,71	0,9691
Husch	0,0069	14,83	0,9881
Brenac	0,0069	14,83	0,9881

A tabela 3.12 mostrou que o comportamento estatístico tanto dos R² ajustados como os syx (%) dos ajustes para os modelos, visando estimar o volume total sem casca, seguiu a mesma tendência já apresentada na Tabela 3.11, na qual foram ajustados para a estimativa do volume total, porém com casca. A Figura 3.6 apresenta a distribuição gráfica dos resíduos, para o ajuste dos diferentes modelos.



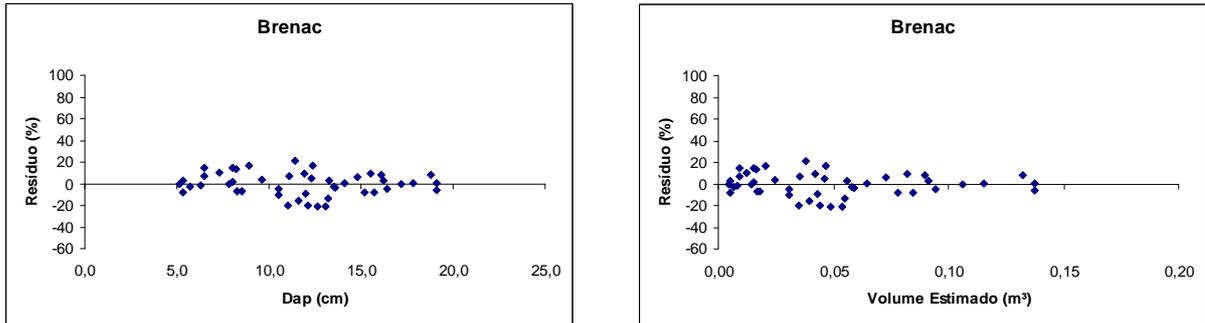


FIGURA 3.6 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS SEIS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA TESTADAS.

Assim como as estatísticas de ajuste e precisão dos referidos modelos para a estimativa do volume total sem casca foi semelhante ao volume total com casca, os gráficos de dispersão dos resíduos manteve-se igual, com tendência nos modelos de Kopezky-Gehrhardt, e Dissescu-Meyer, em subestimativa para as árvores de menores diâmetros, enquanto que o modelo de Hohenadl-Krenm apresentou a mesma ligeira tendência em superestimativa para estas mesmas árvores de menores diâmetros. Essa pequena tendência é vista também nos modelos de Berkhout, Husch e Brenac, porém de uma forma mais branda. Sendo assim, o modelo de Brenac se mostrou mais uma vez como sendo superior aos demais, após uma análise nos gráficos de resíduos juntamente com as estatísticas apresentada na Tabela 3.12.

O volume comercial é outra variável de extrema importância para as empresas florestais, a Tabela 3.13 apresenta os ajustes dos modelos volumétricos de simples entrada para a estimativa do volume comercial (sem casca).

TABELA 3.13 - COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE SIMPLES ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL SEM CASCA.

AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Kopezky-Gehardt	$VcomSemcas = -0,00979588 + (0,0003896479(dap^2))$
Dissescu-Meyer	$VcomSemcas = (-0,0020470832dap) + (0,0004798514(dap^2))$
Hohenadl-Krenm	$VcomSemcas = 0,00894345 + (-0,0036785999dap) + (0,0005463374(dap^2))$
Berkhout	$VcomSemcas = 0,00008748(dap^{2,4985261375})$
Husch	$LnVcomSemcas = -9,5938021923 + (2,5888344 \ln(dap))$
Brenac	$LnVcomSemcas = -8,9757387 + (2,3985349 \ln(dap)) + (-1,6280236011\left(\frac{1}{dap}\right))$

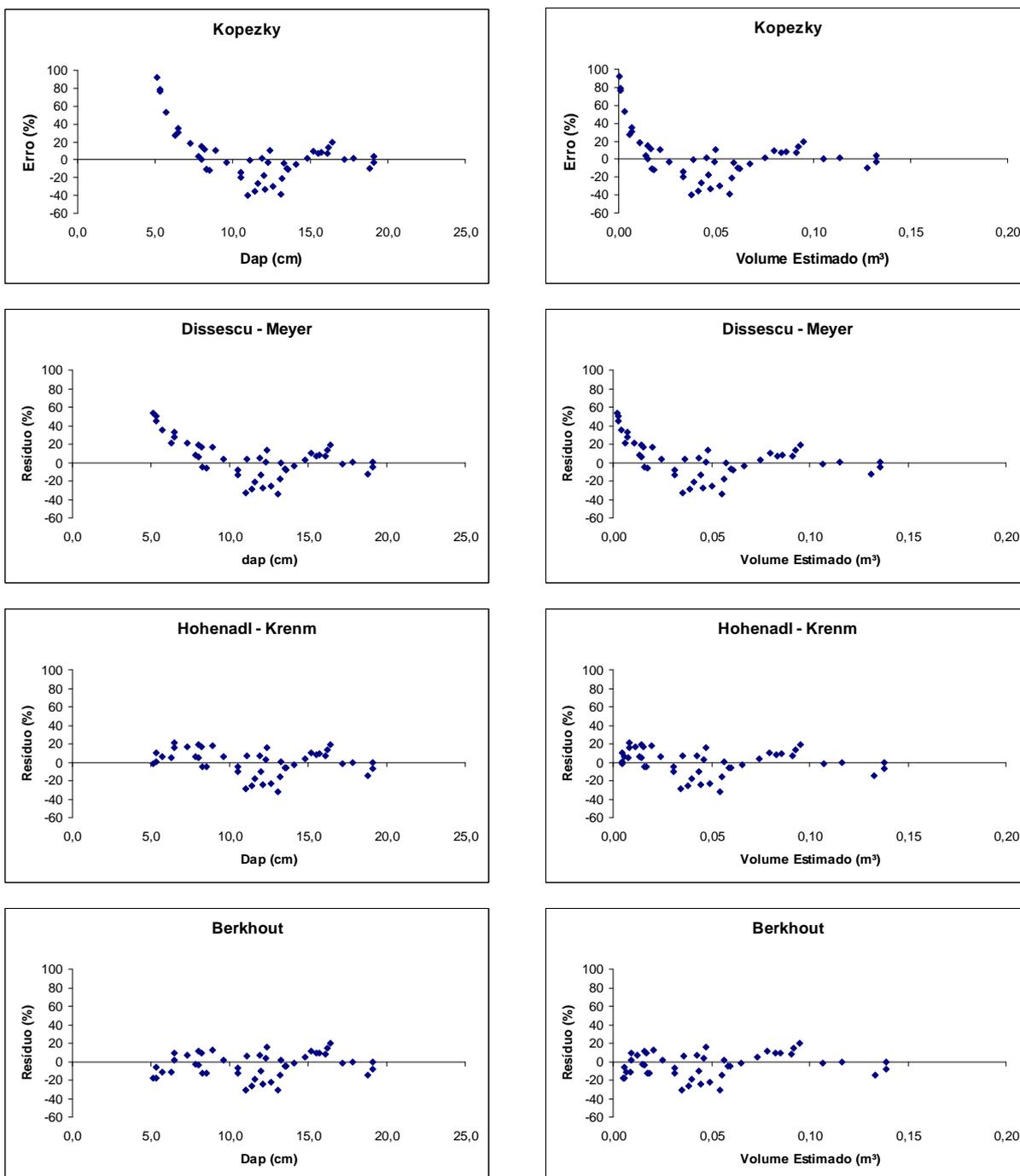
Na Tabela 3.14 estão às estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de simples entrada ajustados para a estimativa do volume comercial sem casca, em função do DAP.

TABELA 3.14 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL SEM CASCA EM FUNÇÃO DO DAP.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Kopezky-Gehardt	0,0080	15,95	0,9646
Dissescu-Meyer	0,0073	14,79	0,9869
Hohenadl-Krenm	0,0072	14,63	0,9700
Berkhout	0,0074	14,86	0,9690
Husch	0,0074	14,86	0,9883
Brenac	0,0073	14,79	0,9883

Analisando a Tabela 3.14, é visível que o modelo de Kopezky-Gehardt, apresentou as piores estatísticas; os modelos de Husch e Brenac, por sua vez, tem os melhores coeficientes de determinação ajustados, e os modelos de Dissescu-Meyer e Hohenadl-Krenm apresentaram os menores erros da estimativa. Porém é

visível que as estatísticas dos ajustes apresentam-se muito próximas. A Figura 3.7 mostra a distribuição gráfica dos resíduos, para o ajuste dos diferentes modelos ajustados.



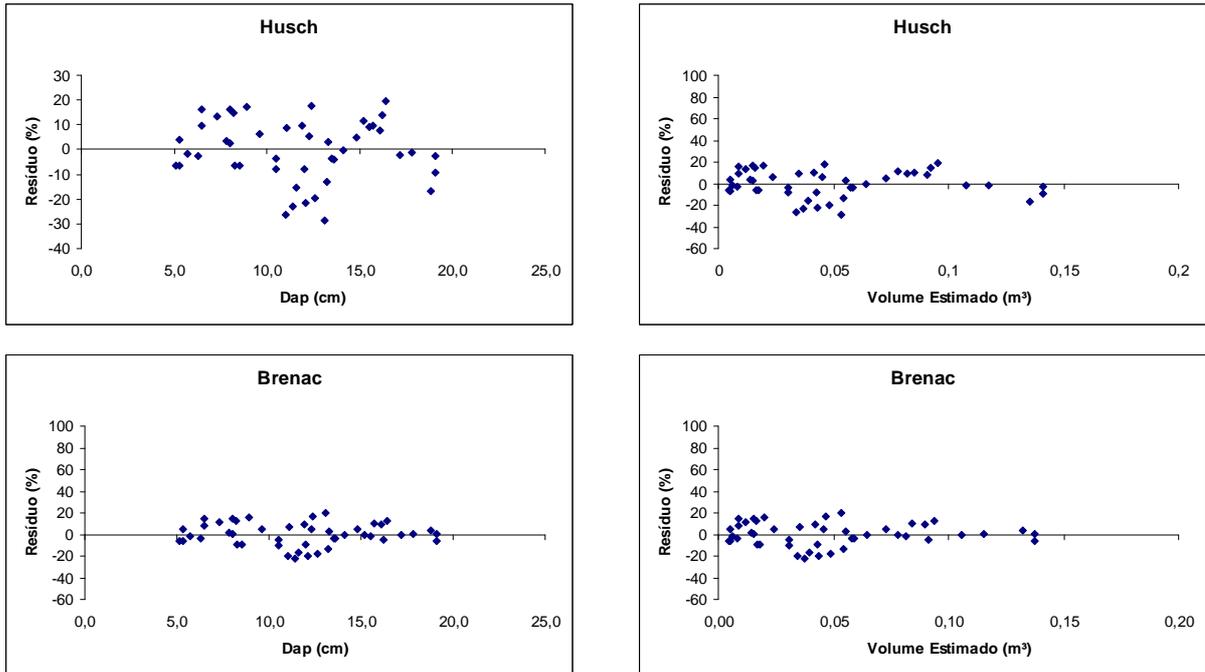


FIGURA 3.7 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PORCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, PARA AS SEIS EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE SIMPLES ENTRADA TESTADAS.

As piores estatísticas de ajuste e precisão apresentadas na Tabela 3.14, referente ao modelo de Kopezky-Gehhardt, também foi verificado no seu gráfico de dispersão de resíduos, uma clara tendência em subestimar o volume nos menores diâmetro, visto também no modelo de Dissescu-Meyer. Após analisar o gráfico de dispersão dos resíduos, juntamente com as análises de ajuste e precisão, o modelo de Brenac se mostrou o mais apropriado para a estimativa do volume comercial (sem casca), para o referido trabalho.

3.3.2.2 Ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume total e comercial, com e sem casca.

Os modelos de dupla entrada geralmente resultam em melhores resultados estatísticos que os modelos de simples entrada, em decorrência de melhor representar as características da população amostrada, diâmetro e altura. A Tabela 3.15 apresenta os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume total com casca.

TABELA 3.15 - EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL COM CASCA.

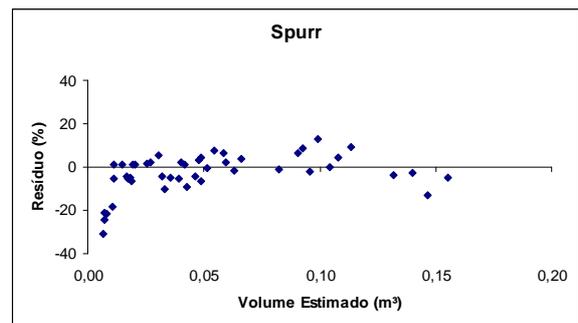
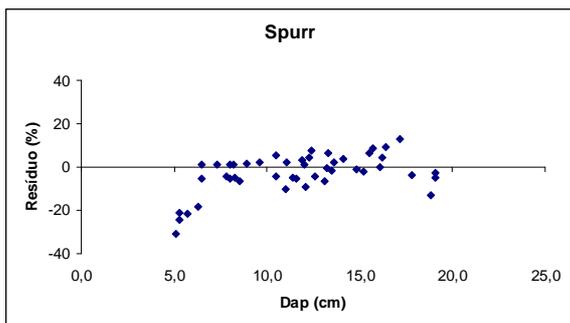
AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Spurr	$V_t = 0,0016265 + (0,0000164303dap^2)ht$
Schumacher-Hall	$V_t = 0,0000259048(dap^{1,8469523394})(ht^{0,9964296916})$
Honner	$V_t = \frac{dap^2}{\left(173,728598 + \left(55104,216636 \frac{1}{ht}\right)\right)}$
Ogaya	$V_t = dap^2(0,0000579523 + (0,0000141758ht))$
Takata	$V_t = \frac{dap^2 ht}{29466,2422041 + (10,9759666dap)}$
Stoate	$V_t = -0,0105684641 + (0,0000567201dap^2) + (0,00001297(dap^2 ht)) + (0,0007990ht)$
Naslund	$V_t = (0,00013717dap^2) + (0,0000036431(dap^2 ht)) + (0,0000072667(dap * ht^2)) + (-0,0000362453ht^2)$
Spurr (log)	$LnV_t = -10,8602330755 + (0,9854303194Ln(dap^2 ht))$
Meyer	$V_t = 0,0371972 + (-0,015982858dap) + (0,000926459dap^2) + (0,000613177 * (dapht)) + (-0,0000229829(dap^2 * ht)) + (-0,000353745ht)$
Schumacher-Hall Log	$LnV_t = -11,1225250027 + (1,8687564416Ln(dap)) + (1,1612189974Ln(ht))$

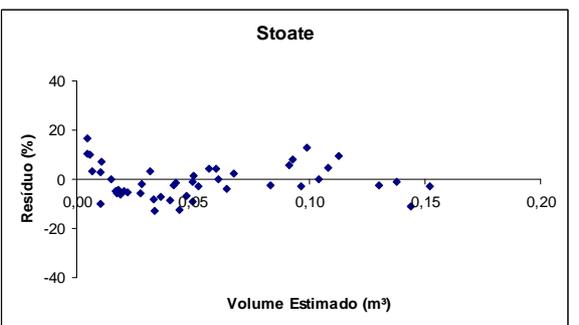
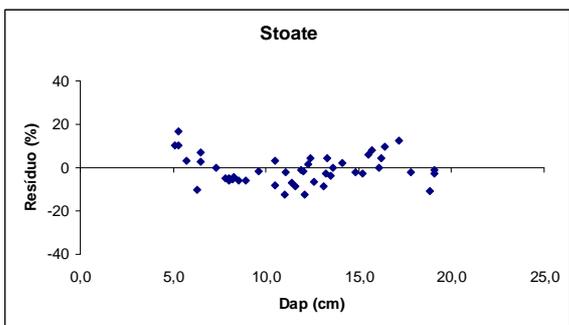
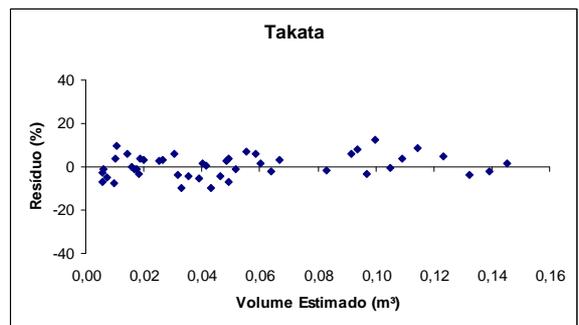
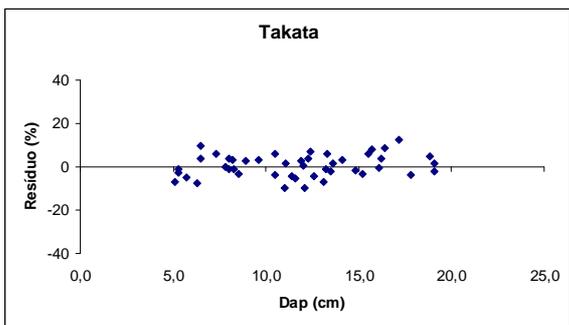
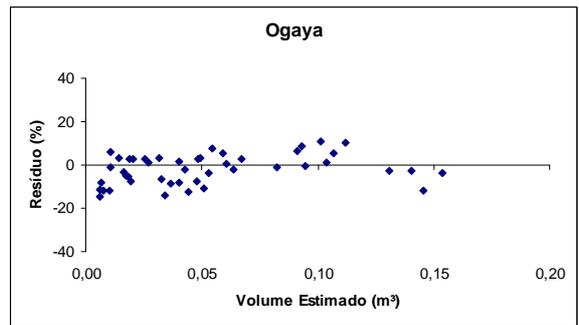
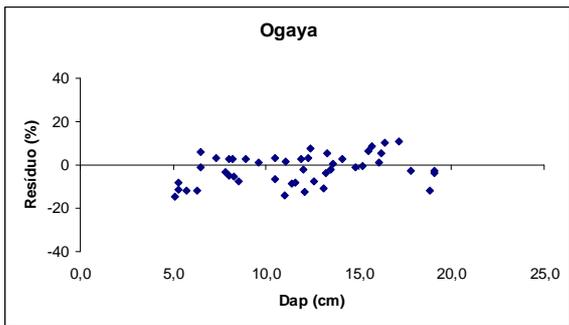
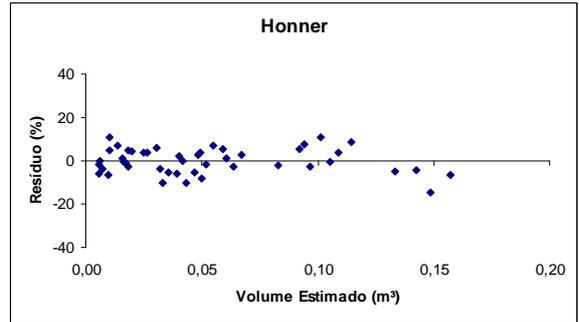
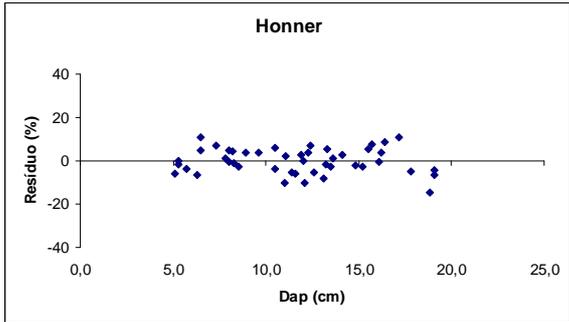
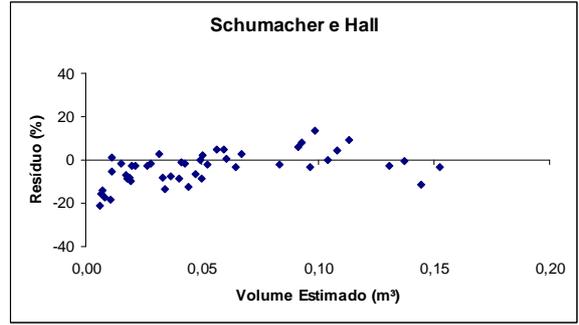
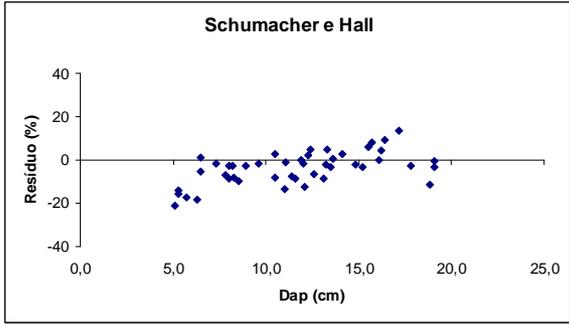
Na Tabela 3.16 estão às estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume total com casca, em função do DAP e da Altura Total.

TABELA 3.16 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL COM CASCA EM FUNÇÃO DO DAP E DA ALTURA.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Spurr	0,00460	9,18	0,9879
Schumacher-Hall	0,00430	8,72	0,9891
Honner	0,00461	9,19	0,9879
Ogaya	0,00448	8,95	0,9886
Takata	0,00443	8,86	0,9888
Stoate	0,00436	8,71	0,9891
Naslund	0,00433	8,16	0,9956
Spurr (log)	0,00460	9,20	0,9920
Meyer	0,00369	7,38	0,9922
Schumacher-Hall Log	0,00479	9,58	0,9970

Embora o modelo de Schumacher-Hall (log), tenha apresentado o maior Coeficiente de determinação (R² ajustado,), por outro lado, juntamente com os modelos de Spurr (log), Honner e Spurr, apresentaram erros padrões da estimativa (syx) ligeiramente superiores. No entanto, vale ressaltar que todos os modelos ajustados apresentaram estatísticas bastante aceitáveis, no entanto houve uma superioridade no Modelo de Meyer, apresentando o menor erro padrão da estimativa. A Figura 3.8 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total com casca, para os 10 modelos, como critério decisivo, na escolha do melhor ajuste.





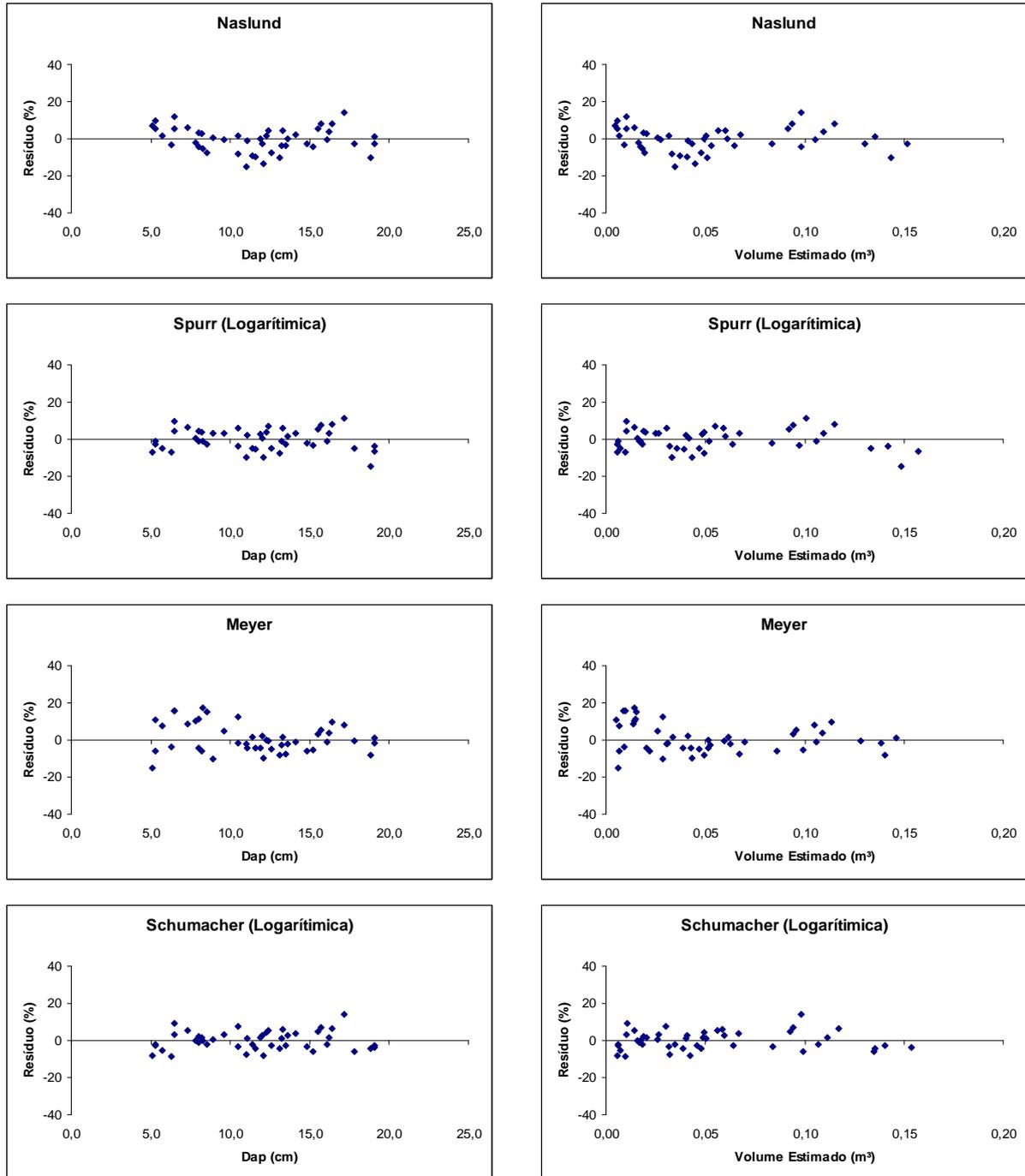


FIGURA 3.8 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS DEZ EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA TESTADAS.

Após analisar a Figura 3.9, fica evidenciada uma subestimação do modelo de Stoate nas classes de menores diâmetros, sendo visível também no modelo de Naslund, porém de forma menos acentuada. Por outro lado, os modelos de Spur, Schumacher-Hall e Ogaya apresentaram clara tendência de superestimar estes valores nas classes de menores diâmetros, e o Modelo de Meyer, mesmo

apresentando o menor erro padrão da estimativa, apresentou uma deficiência também de estimar o volume nas menores classes, levando a uma superestimação dos menores diâmetros, sendo assim descartado. Por outro lado, os modelos de Spurr (log), Schumacher-Hall (log) e Honner apresentaram uma boa distribuição de resíduos porém todos eles apresentaram características de inflacionar os valores de maiores diâmetros. Já o modelo de Takata mostrou-se superior a todos na distribuição gráfica de resíduos, revelando uma distribuição homogênea dos resíduos, e com um erro padrão da estimativa, bastante considerável, sendo assim foi o modelo escolhido para a estimativa do volume total no presente povoamento estudado.

A Tabela 3.17 apresenta os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume total sem casca.

TABELA 3.17 - RESULTADO DOS COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL SEM CASCA.

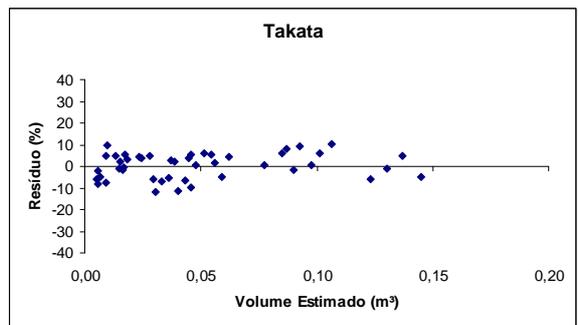
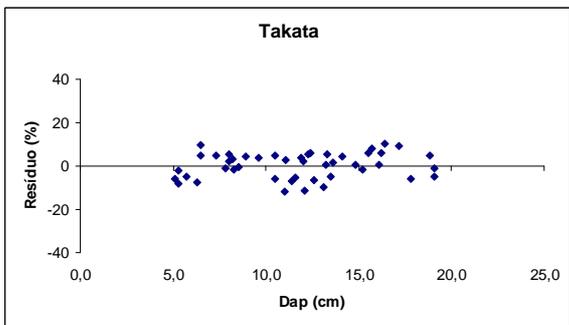
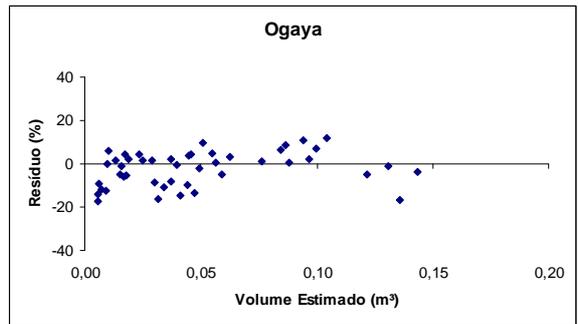
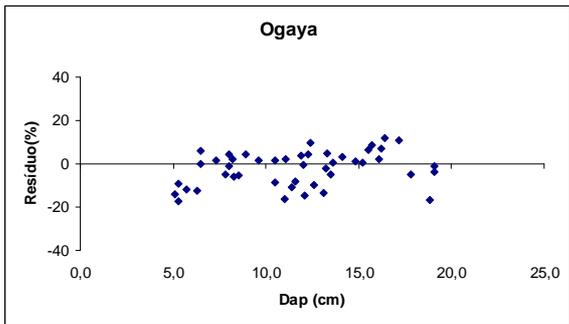
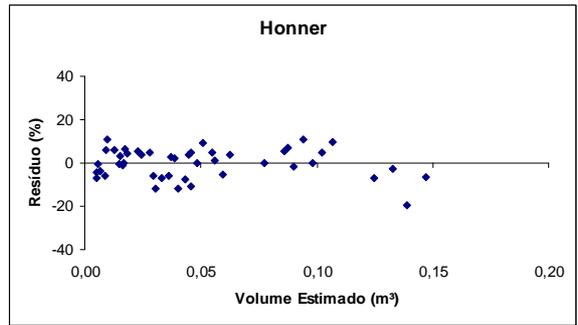
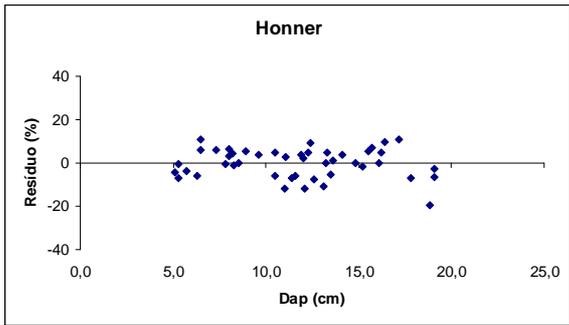
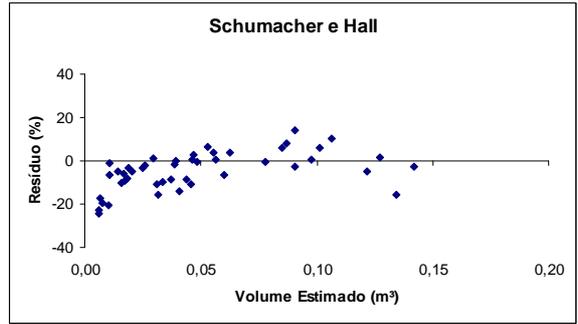
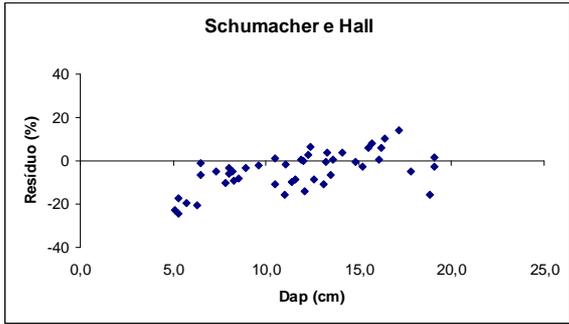
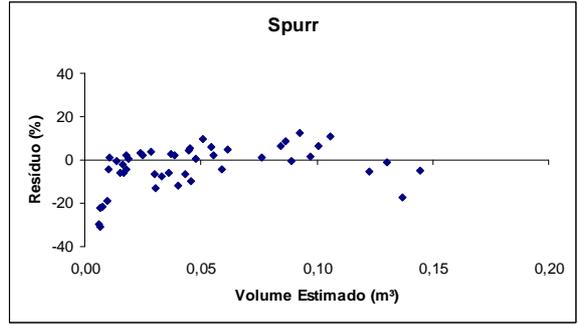
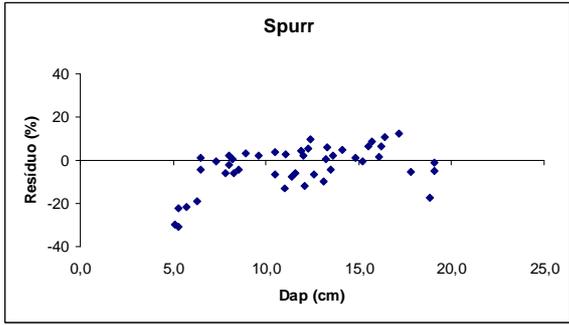
AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Spurr	$Vtsemcas = 0,0014476828 + (0,0000153085dap^2)ht$
Schumacher-Hall	$Vtsemcas = 0,0000224523(dap^{1,8013133434})(ht^{1,059893658})$
Honner	$Vtsemcas = \frac{dap^2}{\left(98,7434884337 + \left(61069,4897895962 \frac{1}{ht}\right)\right)}$
Ogaya	$Vtsemcas = dap^2(0,0000495865 + (0,0000133905ht))$
Takata	$Vtsemcas = \frac{dap^2 * ht}{28140,0462888061 + (144,5010205953dap)}$
Stoate	$Vtsemcas = -0,0118713888 + (0,0000431194dap^2) + (0,0000121889(dap^2 * ht)) + (0,0009164658ht)$
Naslund	$Vtsemcas = (0,0001326809dap^2) + (0,0000018737(dap^2 * ht)) + (0,0000079833(dap * ht^2)) + (-0,0000384975ht^2)$
Spurr (log)	$LnVtsemcas = -10,9695590731 + (0,9898431583Ln(dap^2 ht))$
Meyer	$Vtsemcas = 0,04005722 + (-0,01724375dap) + (0,0009791645dap^2) + (0,000666509 * (dap * ht)) + (-0,0000266767(dap^2 * ht)) + (-0,0003794965ht)$
Schumacher-Hall Log	$LnVt = -11,34268941 + (1,8344352807Ln(dap)) + (1,2399160079Ln(ht))$

Na Tabela 3.18 estão as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume total sem casca, em função do DAP e da Altura Total.

TABELA 3.18 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL SEM CASCA EM FUNÇÃO DO DAP E DA ALTURA.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Spurr	0,00497	10,67	0,9838
Schumacher-Hall	0,00475	10,21	0,9852
Honner	0,00504	10,83	0,9833
Ogaya	0,00490	10,51	0,9843
Takata	0,00431	8,90	0,9847
Stoate	0,00475	10,19	0,9853
Naslund	0,00471	10,11	0,9040
Spurr (log)	0,00501	10,75	0,9964
Meyer	0,00403	8,66	0,9893
Schumacher-Hall Log	0,00521	11,18	0,9965

Embora o modelo de Schumacher-Hall (log) tenha apresentado o maior coeficiente de determinação (R² ajustado), como aconteceu nos modelos ajustados para o volume total com casca, por outro lado apresentou o pior erro padrão da estimativa (syx). Ouve superioridade do Modelo de Meyer no quesito erro padrão da estimativa, seguido do modelo de Takata, ambos errando em termos relativos abaixo de 10%; os syx % dos demais modelos foram ligeiramente acima dos 10%, e com valores muito próximos. A Figura 3.9 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total sem casca, para os modelos ajustados como critério decisivo, na escolha do melhor ajuste.



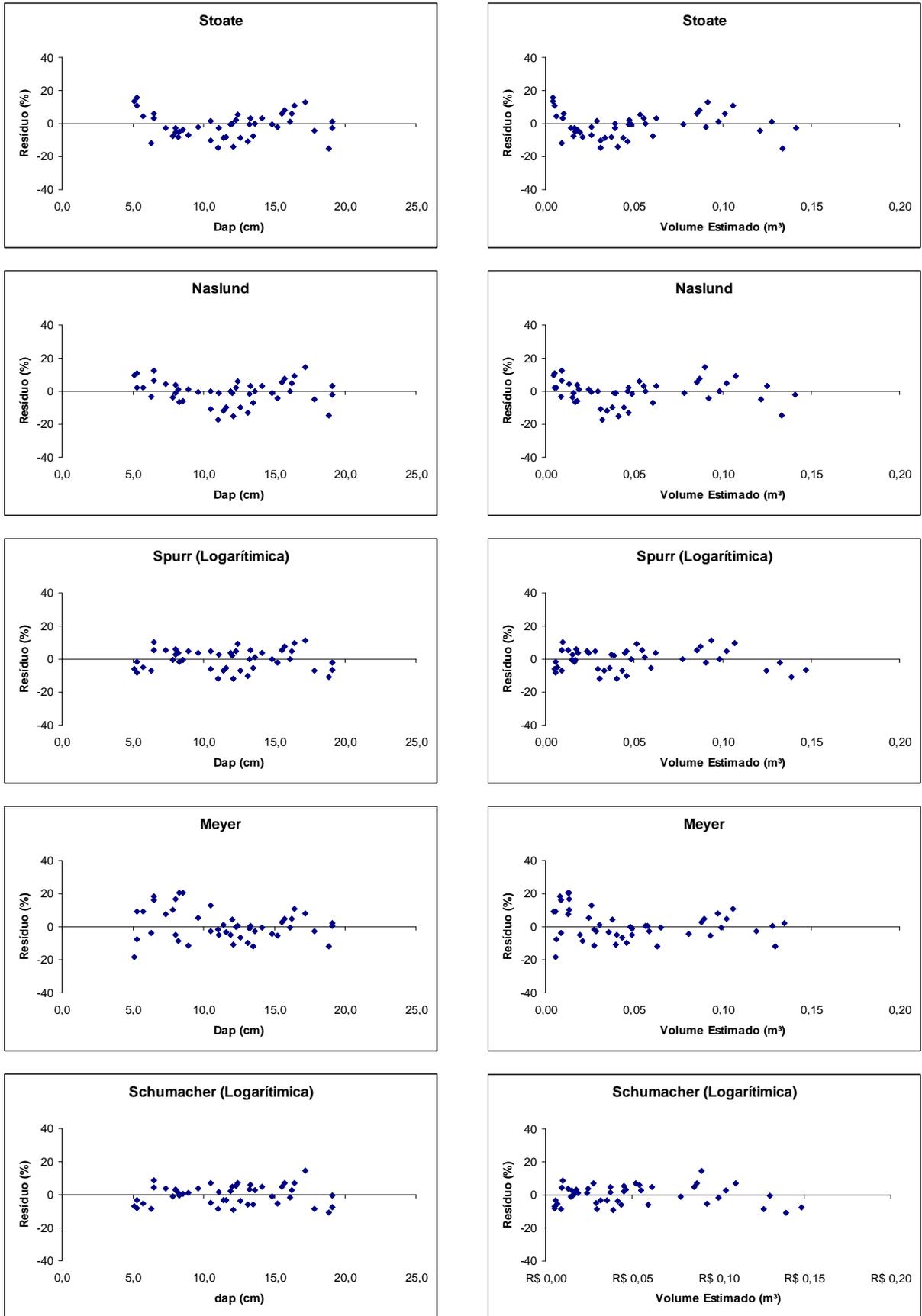


FIGURA 3.9 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS DEZ EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA TESTADAS.

Analisando a Figura 3.9, fica evidenciado um comportamento muito semelhante aos ajustes para o volume total com casca, mostrando-se outra vez maior homogeneidade na distribuição dos resíduos por parte do modelo de Takata, juntamente com estatísticas de ajuste e precisão consideráveis esse modelo se mostrou superior aos demais para a estimativa do volume total sem casca.

Na Tabela 3.19, estão os resultados dos ajustes dos modelos volumétricos de dupla entrada para a estimativa do volume comercial (sem casca).

TABELA 3.19 - COEFICIENTES ESTIMADOS PARA OS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL SEM CASCA.

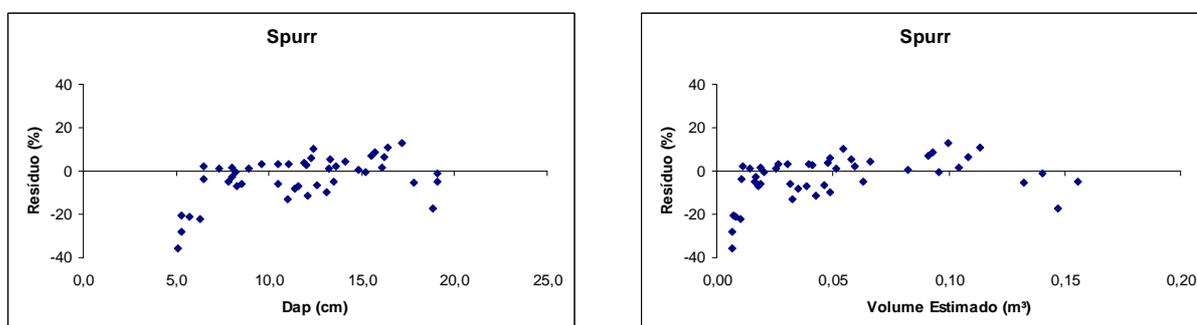
AUTORES	EQUAÇÕES AJUSTADAS
Spurr	$VcomSemCas = 0,0010765972 + (0,0000153138dap^2) * ht$
Schumacher-Hall	$VcomSemCas = 0,000021266(dap^{1,8210366141}) * (ht^{1,058383856})$
Honner	$VcomSemCas = \frac{dap^2}{\left(.335,7349966759 + \left(70104,2170202909 \frac{1}{ht} \right) \right)}$
Ogaya	$VcomSemCas = dap^2 (0,0000420939 + (0,0000136556ht))$
Takata	$VcomSemCas = \frac{dap^2 * ht}{65164,174953009 + (-85,9943026845dap)}$
Stoate	$VcomSemCas = -0,0118184203 + (0,0000434393dap^2) + (0,0000122348(dap^2 * ht)) + (0,000883348ht)$
Naslund	$VcomSemCas = (0,000134674dap^2) + (0,0000016161(dap^2 * ht)) + (0,0000082849(dap * ht^2)) + (-0,0000420724ht^2)$
Spurr (log)	$LnVcomSemCas = -11,1417714338 + (1,0099172574Ln(dap^2 ht))$
Meyer	$VcomSemCas = 0,0409618539 + (-0,0174647351dap) + (0,0009903909dap^2) + (0,0006773898 * (dapht)) + (-0,0000271622(dap^2 * ht)) + (-0,000453886ht)$
Schumacher-Hall Log	$LnVcomSemCas = -11,508566528 + (1,8770496451Ln(dap)) + (1,2557442083Ln(ht))$

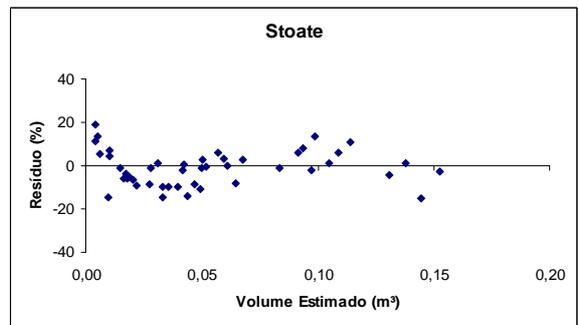
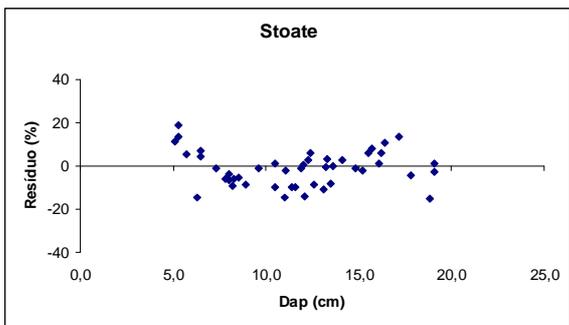
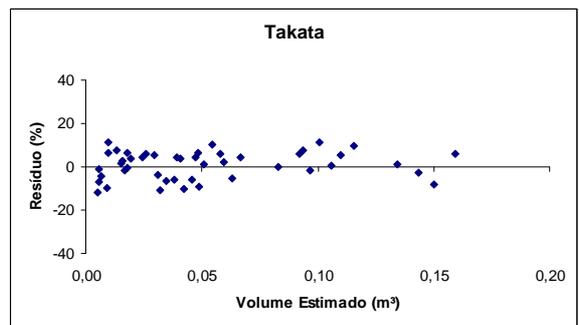
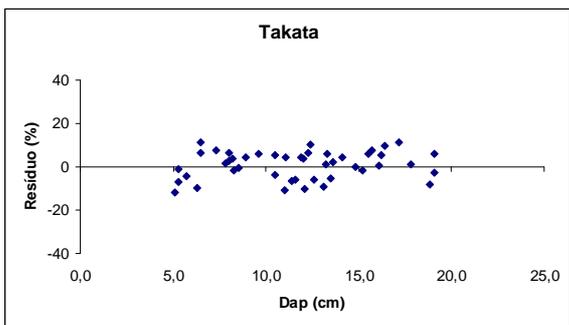
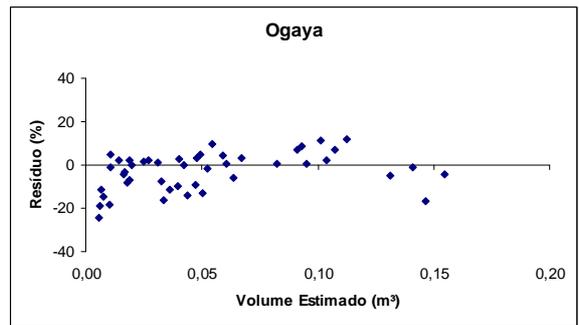
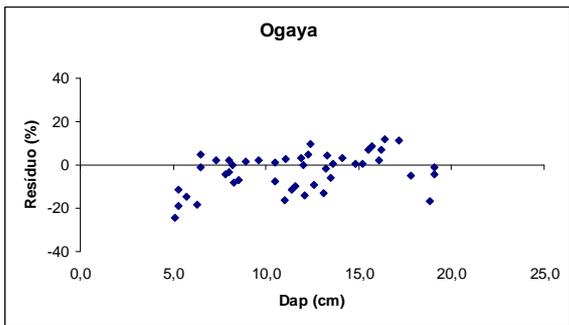
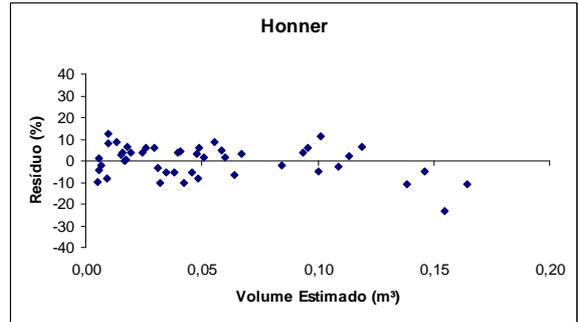
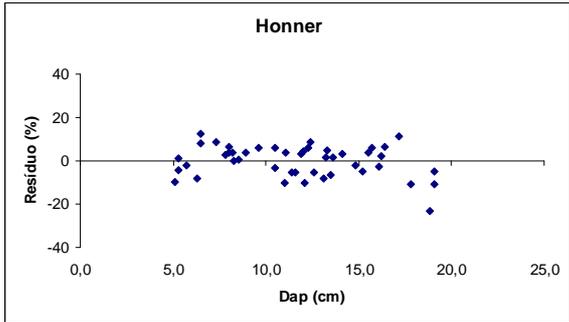
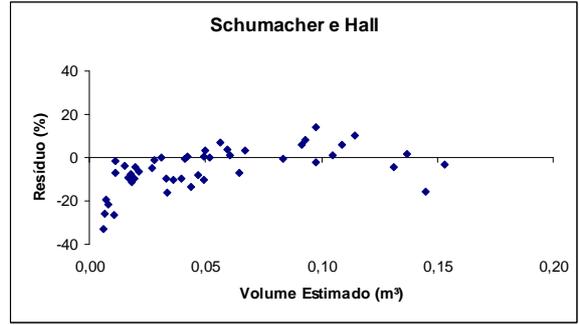
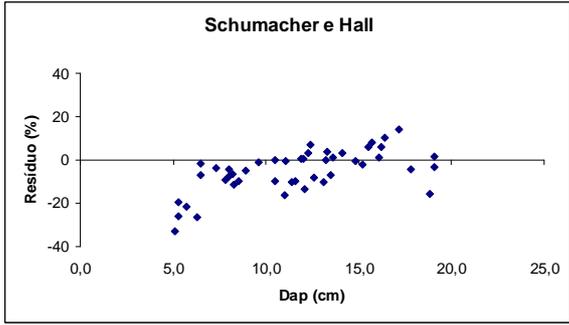
Na Tabela 3.20 estão as estatísticas de ajuste e precisão calculadas para os modelos de dupla entrada ajustados para a estimativa do volume comercial (sem casca), em função do DAP e da Altura Total.

TABELA 3.20 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS VOLUMÉTRICOS DE DUPLA ENTRADA AJUSTADOS PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME COMERCIAL SEM CASCA EM FUNÇÃO DO DAP E DA ALTURA.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Spurr	0,00537	10,75	0,9838
Schumacher-Hall	0,00518	10,37	0,9850
Honner	0,00631	12,36	0,9786
Ogaya	0,00530	10,61	0,9843
Takata	0,00498	9,95	0,9830
Stoate	0,00515	10,31	0,9851
Naslund	0,00511	10,23	0,9938
Spurr (log)	0,00565	11,32	0,9959
Meyer	0,00436	8,73	0,9893
Schumacher-Hall Log	0,00592	11,85	0,9962

Como já acontecido nos ajustes anteriores, os modelos de Schumacher-Hall (log) e Spurr (log) apresentaram os maiores valores de coeficiente de correlação ajustado (R². ajustado), e em contrapartida os maiores erros padrão da estimativa, perdendo apenas para o modelo de Honner, que apresentou este erro ainda maior, e o Modelo de Meyer que por sua vez, apresentou o menor erro da estimativa, seguido pelo modelo da Takata. A Figura 3.10 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume comercial (sem casca), para os modelos ajustados como critério decisivo, na escolha do melhor ajuste.





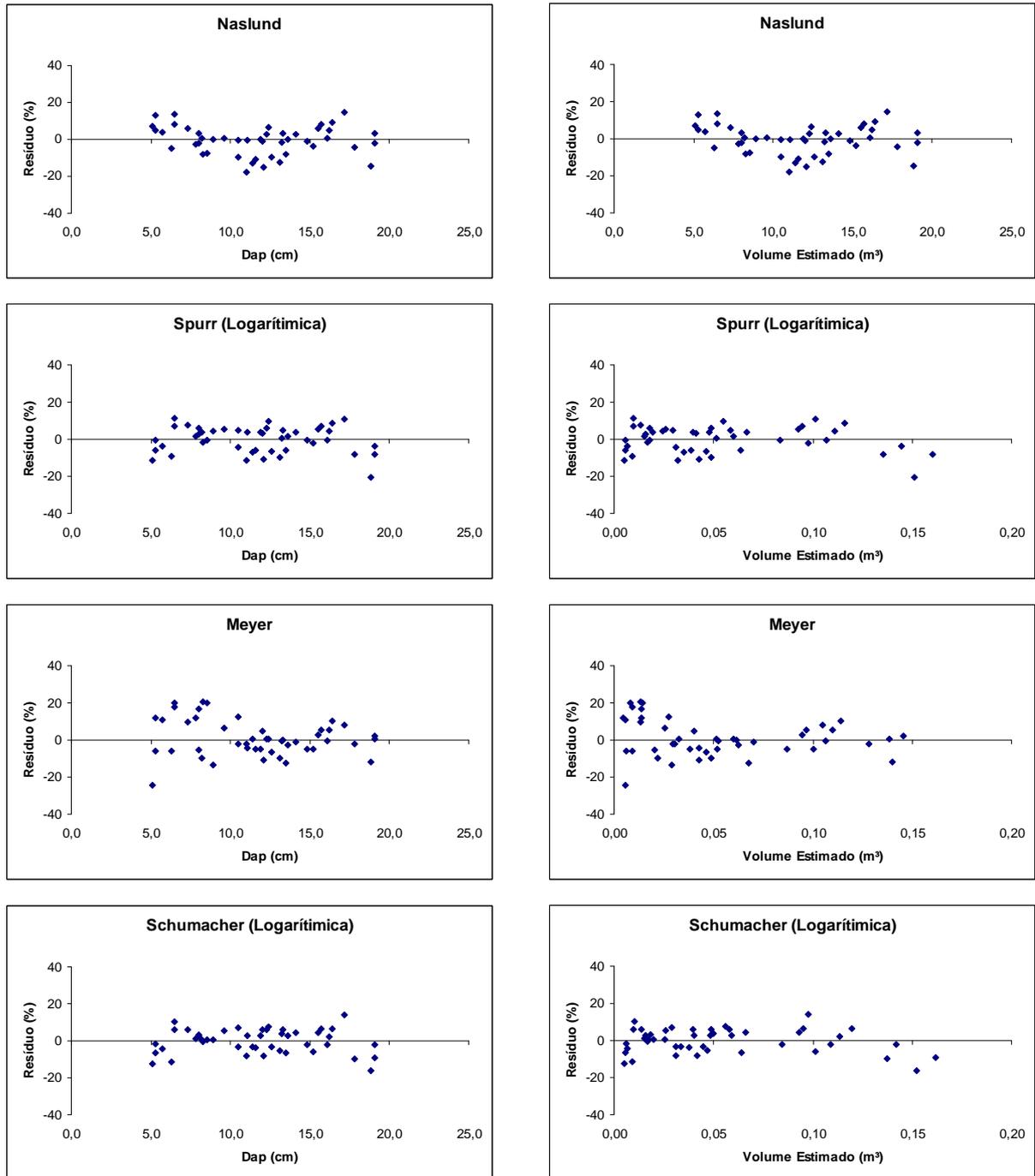


FIGURA 3.10 - DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS DEZ EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS DE DUPLA ENTRADA TESTADAS.

Analisando a Figura 3.10, verifica-se que a dispersão dos resíduos seguem os mesmos comportamentos dos outros ajustes já apresentados, mesmo o modelo de Meyer apresentando o menor erro padrão da estimativa, seu gráfico de dispersão dos resíduos foi inferior ao modelo de Takata, resultado este já visto anteriormente em outros ajustes. Sendo assim, o modelo de Takata mostrou-se superior aos

demais para estimar o volume comercial (sem casca), o que o qualificou como superior, tornando-se o mais adequado para estimar a variável volume, no povoamento de *Eucalyptus urophylla*, na região Norte do estado de Goiás.

3.4 CONCLUSÕES

Para a estimativa da variável altura total, o modelo de Trorey, apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão.

No quesito altura comercial (diâmetro mínimo 4 cm), em função do DAP o modelo de Petterson se mostrou superior aos demais, superioridade essa mantida também quando a altura comercial foi estimada em função da altura total.

De um modo geral, a obtenção da altura comercial em função da altura total, apresentou estatísticas de ajustes e precisão mais acuradas que sua estimativa em função do DAP.

Para a estimativa da variável volume total e comercial com e sem casca, o modelo de simples entrada de Brenac se mostrou superior aos demais em todos os casos.

Os modelos de dupla entrada em geral foram superiores aos de simples entrada, resultados estes que estão em consonância com a literatura, pois estes mesmos conseguem representar melhor a população amostrada, captando e explicando melhor suas variações em função do DAP e da Altura.

Dos modelos de dupla entrada testados, o modelo de Takata apresentou-se com o mais adequado para a estimativa do volume total e comercial com e sem casca para o povoamento estudado.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G.; **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. ver. E ampl. – Viçosa: ed. UFV, 2006. 470p.

FIGUEIREDO, E.O- Método da variável fictícia para ajuste de modelo volumétricos estáveis e compatíveis em povoamentos florestais. Rio Branco: **Embrapa Acre**, 28 p. il 2005.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEER, T.W. **Forest mensuration**. 3.ed. New York: J. Wiley & Sons, 1982. 402p.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa. Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, v. 4, n. 2, p. 185-196, 2002.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba. Sebastião do Amaral machado e Afonso Figueiredo Filho Guarapuava: UNICENTRO. 2.ed. 316 p. 2006.

PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. REAL, P. **Mensura Forestal**. San José, C. R: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), 586p. 1997.

SCHNEIDER, P.R., BRENA, D.A., FINGER, C.A.G. **Manual para a coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: CEPEF/FATEC/UFSM, 1988b. 28p. (Série Técnica n. 8).

SCOLFORO, J.; R.; S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal: Medição e volumetria de árvores**. Lavras: UFLA/FAEP, 1998. 310p.

4 - MODELOS POLINOMIAIS PARA REPRESENTAR O PERFIL E O VOLUME DO FUSTE DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS.

RESUMO

A possibilidade de estimar o volume madeirável de um determinado empreendimento florestal e paralelo a isso fazer a predição de múltiplos produtos advindos do mesmo, viabilizam significativos ganhos na administração dos povoamentos florestais. É claro e evidente que a estimativa precisa do volume de uma povoamento florestal cada vez mais vem se tornando prática indispensável nas empresas ligadas ao nicho madeireiro, e a possibilidade de agregar valores nas florestas, sejam plantadas ou nativas é possível uma vez que se tenha meios de diversificar os produtos madeireiros onde o resíduo da elaboração de um produto torna-se matéria prima para elaboração de outro. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a acuracidade dos modelos polinomiais proposto por Schöpfer (1966), Kozak (1969) e Hradetzky (1976), na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Eucalyptus urophylla*, localizada no município de Niquelândia, no estado do Goiás. A base de dados foi composta por 48 árvores cubadas rigorosamente pelo método de Smalian. A avaliação da precisão dos modelos foi feita através da análise de resíduos, Erro Padrão Residual (S_{yx}) e Coeficiente de Determinação (R^2). O modelo que gerou as melhores estatísticas para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste foi o modelo proposto por Hradetzky (1976), já para a estimativa do volume o Polinômio do 5º grau proposto por Schöpfer (1966) foi superior.

Palavras-chave: Modelagem. Função de Afilamento. Volumetria

SUMMARY

The possibility of estimating timber volume of a determined forest and prediction of its multiple products and makes significant profits possible in administration of the forest stands. It is clear that the precise volume estimation of a forest is becoming essential in companies in the timber area and the possibility of adding value in forests (native or planted) is possible once there are means of transforming the residues into raw material (matter). This study had as an objective evaluating the accuracy of the polynomial models proposed by Schöpfer (1966), Kozak (1969) and Hradetzky (1976) in estimating diameter and volume along the stem of *Eucalyptus urophylla* located in the country of Niquelândia, in the state of Goiás. The database was composed by 48 trees that had their absolute volume calculate by the Smalian method. The precision of the models was evaluated by the analysis of the residues, the Standard error of estimate (S_{yx}) and the determination coefficient (R^2). The model that generated the best statistics for diameter estimation along the stem was the model proposed by Hradetzky (1976) and the 5th degree model proposed by Schöpfer (1966) proved superior for volume estimation.

Key-words: Modeling, Taper function. Volumetry

4.1 INTRODUÇÃO

O entendimento da forma do fuste tem sido objeto de muitos estudos, dada a importância deste parâmetro na quantificação do volume. Experiências têm demonstrado que cada espécie, nos seus diversos estádios de desenvolvimento possui características de afilamento diferenciadas. As árvores, de maneira geral, têm em sua base a aparência de um neilóide, passando a se assemelhar a um parabolóide na sua porção mediana, assumindo a forma de cone na sua extremidade superior.

Cada vez mais o mercado exige produtos diversificados e de qualidade. Como os produtos florestais não fogem à regra, faz-se necessário utilizar técnicas de quantificação e qualificação desses produtos, entre as quais se têm os modelos de afilamento que possibilitam a determinação do volume total e comercial de madeira para qualquer diâmetro ou altura especificados.

Existe certa consolidação pelos pesquisadores do meio florestal que o afilamento do fuste das árvores é o decréscimo natural do diâmetro ao longo do tronco e tem efeito direto no volume das árvores, sendo o seu conhecimento de fundamental importância em inventários florestais para o sortimento dos produtos madeiráveis.

De acordo com Ahrens & Holbert (1981), uma função de afilamento é uma descrição matemática do perfil longitudinal de um tronco. Assumindo-se que a seção transversal seja circular em qualquer ponto ao longo do troco, seu volume pode ser obtido por integração daquela função. Assim em termos geométricos o tronco é tratado como um sólido de revolução.

O planejamento e a otimização das atividades de exploração das florestas plantadas dependem da precisão de suas estimativas volumétricas para um determinado povoamento. As estimativas do volume dos bens madeiráveis que possibilite a predição de múltiplos usos da madeira viabilizam e agregam valores significativos, resultando em uma atividade mais rentável para o empreendedor florestal.

A estimação precisa do volume de um povoamento florestal torna-se cada vez mais importante à medida que as empresas florestais integram e diversificam suas atividades, visando à diminuição do resíduo, transformando o mesmo em matéria prima na elaboração de outro produto e assim sucessivamente.

A existência de um modelo que descreva com precisão o perfil do fuste de árvores, na expectativa de estimar o diâmetro a qualquer altura ao longo do fuste e a altura a qualquer diâmetro especificado, permite quantificar o número de toras com bitola e comprimentos pré-definidos ou os múltiplos produtos da madeira. Por meio da integração das funções de afilamento obtém-se expressões que permitem calcular o volume desses múltiplos produtos, e conseqüentemente de toda a árvore.

Diversos modelos de regressão têm sido propostos e empregados para descrever o perfil do fuste, contemplando as variações de forma, segundo a espécie. O melhor modelo depende dos objetivos desejados para cada caso específico. A variável dependente de uma função de afilamento é a razão entre o diâmetro (d) a uma altura conhecida (h) e o DAP.

Segundo Scolforo (2006), além destas flexibilidades de estimar altura de acordo com certo diâmetro e diâmetro de acordo com certa altura, as funções de afilamento apresentam ainda o princípio da compatibilidade entre o volume total e os volumes comerciais estimados. Desta maneira existe a garantia que a soma dos volumes comerciais seja sempre menor que o volume total.

Portanto, torna-se cada vez mais importante a realização de trabalhos que visam uma administração mais eficiente dos bens madeiráveis, buscando um maior aproveitamento da madeira, conseqüentemente diminuição dos resíduos e uma agregação de valores mais expressiva nos produtos possíveis de serem obtidos, tendo um maior retorno econômico. Sendo assim o objetivo deste trabalho foi:

- Testar funções de afilamento para moldar o perfil do tronco de *Eucalyptus urophylla* plantados no norte do estado de Goiás, para estimar diâmetros a diferentes alturas e volumes parciais e total.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo e do plantio estudado

Os ajustes para as funções de afilamentos utilizaram informações dendrométricas de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* localizado na região norte do estado de Goiás, cujas características do local são as mesmas descritas no item 2.2.2 do capítulo 2. E as informações do povoamento são as mesma do item 3.2.1 do capítulo 3.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo e do plantio estudado

Os ajustes para as funções de afilamentos utilizaram informações dendrométricas de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* localizado na região norte do estado de Goiás, cujas características do local são as mesmas descritas no item 2.2.2 do capítulo 2. E as informações do povoamento são as mesma do item 3.2.1 do capítulo 3.

4.2.2 Cubagem rigorosa

A seleção das árvores-amostra para o desenvolvimento das funções de afilamento medidas se baseou na distribuição diamétrica do povoamento, como mostra a Tabela 4.1.

TABELA 4.1- FREQUÊNCIA DE ÁRVORES CUBADAS POR CLASSE DE DIÂMETRO.

CLASSES DE DAP (Cm)	Nº DE ÁRVORES CUBADAS
5 ----9,9	19
10--- 14,9	19
15--- 19,9	10
TOTAL	48

As árvores cubadas foram selecionadas nas proximidades das parcelas permanentes. Para cada árvore amostrada foram realizadas medições da altura total (h), diâmetro à altura do peito (DAP) e altura comercial até o diâmetro mínimo de 3 cm, sendo também medida a espessura da casca em todas as posições de diâmetro medidos ao longo do fuste. Os diâmetros foram medidos nas alturas (m) 0,1; 0,7; 1,3; 2,0; 4,0; e assim sucessivamente até atingir a altura comercial estabelecida (3cm). Com a tomada de diâmetro nas referidas alturas absolutas optou-se pelo método de Smalian, para calcular os volumes, conforme descrito por Husch et al. (1982).

4.2.3 Ajuste dos modelos de afilamento

O procedimento de ajuste foi feito considerando-se os diâmetros a altura de 1,30 m do solo (DAP) com casca, para a base de dados estudada, visando a obtenção do melhor modelo para a descrição do fuste da árvore e a estimativa dos diâmetros e do volume ao longo do fuste.

4.2.4 Modelos de afilamentos

4.2.4.1 Polinômio de quinto grau (Schoepfer, 1966)

O polinômio do quinto grau proposto por Schoepfer⁹ (1966) é um dos modelos mais utilizados no Brasil para o cálculo do volume por sortimento. Segundo Figueiredo Filho *et al.* (1996), este modelo tem sido o mais usado para descrever o perfil de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* na região sul do Brasil, sendo expresso por:

$$\frac{d_i}{DAP} = \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h} \right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h} \right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h} \right)^5 \right] \quad (4.1)$$

⁹ SCHOEPFER, W. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stender Waldbestände Schriftenreihe Bad.** [S.I.]: Wurt-Forstl., 1966. Não paginado.

Onde:

β_{is} = parâmetros a serem estimados;

d_i = diâmetros (cm) medidos à altura h_i ao longo do fuste;

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura (cm);

h = altura total (m);

h_i = altura nas quais foram medidos os diâmetros d_i

O volume da árvore é obtido pela integral do polinômio:

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

$$V = K \text{ DAP}^2 \int_{h_1}^{h_2} (c_0 + c_1 h_1^{p_1} + c_2 h_2^{p_2} + \dots + c_n h_n^{p_n})^2 \delta h \quad (4.2)$$

Resolvendo a integral tem-se:

$$\begin{aligned} V = K * \text{DAP}^2 * & \left[c_0^2 h_1 + c_0 c_1 h_1^2 + \left(\frac{2}{3} c_0 c_2 + \frac{1}{3} c_1^2 \right) h_1^3 + \left(\frac{1}{2} c_0 c_3 + \frac{1}{2} c_1 c_2 \right) h_1^4 + \right] \\ & + \left(\frac{2}{5} c_0 c_4 + \frac{2}{5} c_1 c_3 + \frac{1}{5} c_2^2 \right) h_1^5 + \left(\frac{1}{3} c_0 c_5 + \frac{1}{3} c_1 c_4 + \frac{1}{3} c_2 c_3 \right) h_1^6 + \\ & + \left(\frac{2}{7} c_1 c_5 + \frac{2}{7} c_2 c_4 + \frac{1}{7} c_3^2 \right) h_1^7 + \left(\frac{1}{4} c_2 c_5 + \frac{1}{4} c_3 c_4 \right) h_1^8 + \\ & + \left(\frac{2}{9} c_3 c_5 + \frac{1}{9} c_4^2 \right) h_1^9 + \frac{1}{5} c_4 c_5 h_1^{10} + \frac{1}{11} c_5^2 h_1^{11} \Big|_{h_1}^{h_2} \quad (4.3) \end{aligned}$$

4.2.4.2 Polinômio de potências fracionárias e inteiras (Hradetzky, 1966)

Segundo Ferreira¹⁰ (2004), Figueiredo (2005), o modelo de Hradetzky (1976), diferencia-se do modelo proposto por Schöpfer (1996), por apresentar potências fracionárias e inteiras como tentativa de melhor representar o perfil do tronco. Schöpfer (1966) já relatava que o polinômio do 5º grau, embora represente bem o perfil da árvore, não representa tão bem a porção inferior, já que há mais tortuosidade e sinuosidade na base da árvore, que nas partes superiores. Sendo assim Hradetzky (1976) propôs potências mais apropriadas na descrição da forma da árvore, apontando como sugestão a construção do modelo pelo método

¹⁰ FERREIRA, M.Z. **Acuracidade na estimativa de volumes comerciais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 183 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1998.

Stepwise, para expoente variando de 0,005 a 25. O procedimento Stepwise seleciona o conjunto de variáveis independentes que produz a melhor regressão, levando em consideração os valores mais elevados da estatística F.

O procedimento Stepwise inicia-se com um modelo considerando apenas o intercepto; posteriormente, ocorre uma inserção de uma variável independente por vez. A variável independente a ser incluída no modelo é aquela que tem a maior correlação com a variável independente (y) e maior significância para o teste $F_{(parcial)}$. A inserção de novas variáveis segue o mesmo critério. Este procedimento possibilita que uma variável independente já adicionada ao modelo possa ser eliminada em um passo seguinte de seleção, por ter se tornado redundante devida a inclusão de outra variável. O número de variáveis retidas é baseado nos níveis de significância, tanto para inclusão quanto para exclusão.

Na execução deste procedimento foi considerado o nível de significância < 4 (teste F), para entrada e saída de variáveis.

Os expoentes utilizados na construção dos modelos por classe de diâmetro através do procedimento "Stepwise" foram: 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.

A forma de ajuste do polinômio de potências fracionárias e inteiro é:

$$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h} \right)^{pn} \quad (4.4)$$

Onde:

d_i , DAP, h_i , h , β_i e e_i = já definidos anteriormente
 p_i = expoentes variando entre 0,005 e 25.

Isolando d_i , obtém-se a função de afilamento:

$$d_i = DAP \left[\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{h} \right)^{pn} \right] \quad (4.5)$$

Ao simplificar a expressão por: $c_0 = \beta_0$ e $c_i = \left(\frac{\beta_i}{h^{p_i}} \right)$, em que $i = 1, 2, \dots, N$; e

p_j = expoentes selecionados através do processo "stepwise", a expressão (4.5) assume a forma:

$$d_i = DAP \left(c_0 + c_1 h_1^{p1} + c_2 h_2^{p2} + \dots + c_n h_n^{pn} \right) \quad (4.6)$$

O volume total ou de qualquer porção da árvore (sortimento) é obtido pela resolução da integral do polinômio (4.6), após sua substituição na expressão (4.5). O resultado desta é:

$$\begin{aligned}
 V = K * DAP^2 * & \left[c_0^2 h_i + 2c_0 c_1 \left(\frac{h_i^{(p_1+1)}}{p_1+1} \right) + 2c_0 c_2 \left(\frac{h_i^{(p_2+1)}}{p_2+1} \right) + \dots + 2c_0 c_{(n-1)} \left(\frac{h_i^{(p_{(n-1)}+1)}}{p_{(n-1)}+1} \right) + \right. \\
 & + 2c_0 c_n \left(\frac{h_i^{(p_n+1)}}{p_n+1} \right) + c_1^2 \left(\frac{h_i^{(2p_1+1)}}{2p_1+1} \right) + 2c_1 c_2 \left(\frac{h_i^{(p_1+p_2+1)}}{p_1+p_2+1} \right) + \dots + \\
 & + c_1 c_{(n-1)} \left(\frac{h_i^{(p_1+p_{(n-1)}+1)}}{p_1+p_{(n-1)}+1} \right) + 2c_1 c_n \left(\frac{h_i^{(p_1+p_n+1)}}{p_1+p_n+1} \right) + c_2^2 \left(\frac{h_i^{(2p_2+1)}}{2p_2+1} \right) + \dots + \\
 & + 2c_2 c_{(n-1)} \left(\frac{h_i^{(p_2+p_{(n-1)}+1)}}{p_2+p_{(n-1)}+1} \right) + 2c_2 c_n \left(\frac{h_i^{(p_2+p_n+1)}}{p_2+p_n+1} \right) + \dots + c_{(n-1)}^2 \left(\frac{h_i^{(2p_{(n-1)}+1)}}{2p_{(n-1)}+1} \right) + \\
 & \left. + \dots + 2c_{(n-1)} c_n \left(\frac{h_i^{(p_{(n-1)}+p_n+1)}}{p_{(n-1)}+p_n+1} \right) + c_n^2 \left(\frac{h_i^{(2p_n+1)}}{2p_n+1} \right) \right]_{h_1}^{h_2} \quad (4.7)
 \end{aligned}$$

4.2.4.3 Polinômio de Segundo Grau (Kozak *et. al.*, 1969)

Segundo CAMPOS & LEITE (2006), este é um dos modelos mais utilizados na representação do perfil e cálculo do volume do fuste, e possivelmente por sua facilidade de ajustamento, além de oferecer certa precisão nas suas estimativas.

A fórmula geral do polinômio de segundo grau de Kozak *et al.*¹¹ (1969) é:

$$\frac{d_i}{DAP} = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h} \right)^2} \quad (4.8)$$

Onde:

β_i = parâmetros a serem estimados;

d_i = diâmetros tomados a qualquer altura h_i ao longo do fuste;

DAP = diâmetro a 1,3 m de altura;

h = altura total (m);

h_i = alturas até qualquer diâmetro d_i medido ao longo do fuste.

¹¹ KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.H.G. Taper functions and their application in forest inventory. *Forest Chronicle*, Toronto, v.45, n.4, p.278 – 283, 1969.

Isolando d_i , obtém-se a função de afilamento:

$$d_i = \text{DAP} \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2} \quad (4.9)$$

O volume total ou de qualquer sortimento da árvore pode ser obtido pela substituição de (4.8) em (4.9). Após a resolução da integral, obtém-se como resultado:

$$V = \frac{\pi}{40000} * \text{DAP}^2 * \left[(\beta_0 * (h_2 - h_1)) + \left(\beta_1 \left(\frac{h_2^2 - h_1^2}{2 * h} \right) \right) + \left(\beta_2 * \left(\frac{h_2^3 - h_1^3}{3 * h^2} \right) \right) \right] \quad (4.10)$$

4.2.5 Escolha do melhor modelo ajustado

A seleção do melhor modelo que foi analisada pelas seguintes estatísticas com suas respectivas ordens de importância:

a) Erro padrão da estimativa (syx) nas escala da variável dependente e em percentagem (syx%), sendo que quanto mais próximo de zero melhor, pois ele indica o quão próximo os valores estimados estão dos valores observados;

b) Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), quanto mais próximo de 1 melhor será, pois ele mostra o quanto as variáveis dependentes estão sendo explicadas pelas independentes.

O R^2_{aj} foi obtido pela seguinte formula:

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\left(\frac{\text{SQres.}}{\text{SQtotal}} \right) * \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

onde:

SQres. = soma de quadrados do resíduo

SQtotal = soma de quadrados total

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

O Erro padrão da Estimativa (Syx), foi obtido através da seguinte formula:

$$syx = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad syx\% = \frac{syx}{\bar{Y}} * 100$$

Onde:

syx = erro padrão da estimativa (m)

syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem

Y_i = altura observada

Y_e = altura estimada

\bar{Y} = Altura média observada

n = número de observações

p = número de coeficientes do modelo matemático

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Ajuste dos modelos de afilamento para expressar o perfil com casca.

Na tabela 4.2, estão os resultados dos coeficientes dos modelos de afilamento ajustados para a estimativa do diâmetro com casca medido a qualquer altura h_i , especificada, juntamente com suas estatísticas de ajuste e precisão.

TABELA 4.2 - COEFICIENTES DOS MODELOS AJUSTADOS COM SUAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA ESTIMATIVA DO d_i COM CASCA.

MODELOS	COEFICIENTES	syx(cm)	syx (%)	R ² ajustado
Kozak	$b_0 = 1,23907$ $b_1 = -2,33503$ $b_2 = 1,13499$	1,07	8,604	0,9301
Polinômio do 5°	$b_0 = 1,18505$ $b_1 = -3,34565$ $b_2 = 13,09940$ $b_3 = -28,93690$ $b_4 = 28,78840$ $b_5 = -10,79120$	0,535	4,53	0,9829
Hradetzky	$b_0 = 1,20174$ $b_{0,05} = 0,46812$ $b_1 = -0,61066$ $b_5 = -0,28826$ $b_{0,08} = -0,76981$	0,523	4,42	0,9835

Analisando a Tabela 4.2, percebe-se que os modelos de Hradetzky e Polinômio do 5° grau, apresentaram estatísticas de ajustes e precisão muito semelhantes, para a estimativa dos diâmetros com casca nas diferentes alturas pré-estabelecidas, com uma ligeira superioridade do modelo de potência fracionária de

Hradetzky. Já o modelo de Kozak, apresentou piores estatísticas, porém mesmo assim estatísticas a se considerar muita boas.

A Figura 4.1, mostra a distribuição gráfica dos resíduos em percentual ao longo do fuste das árvores.

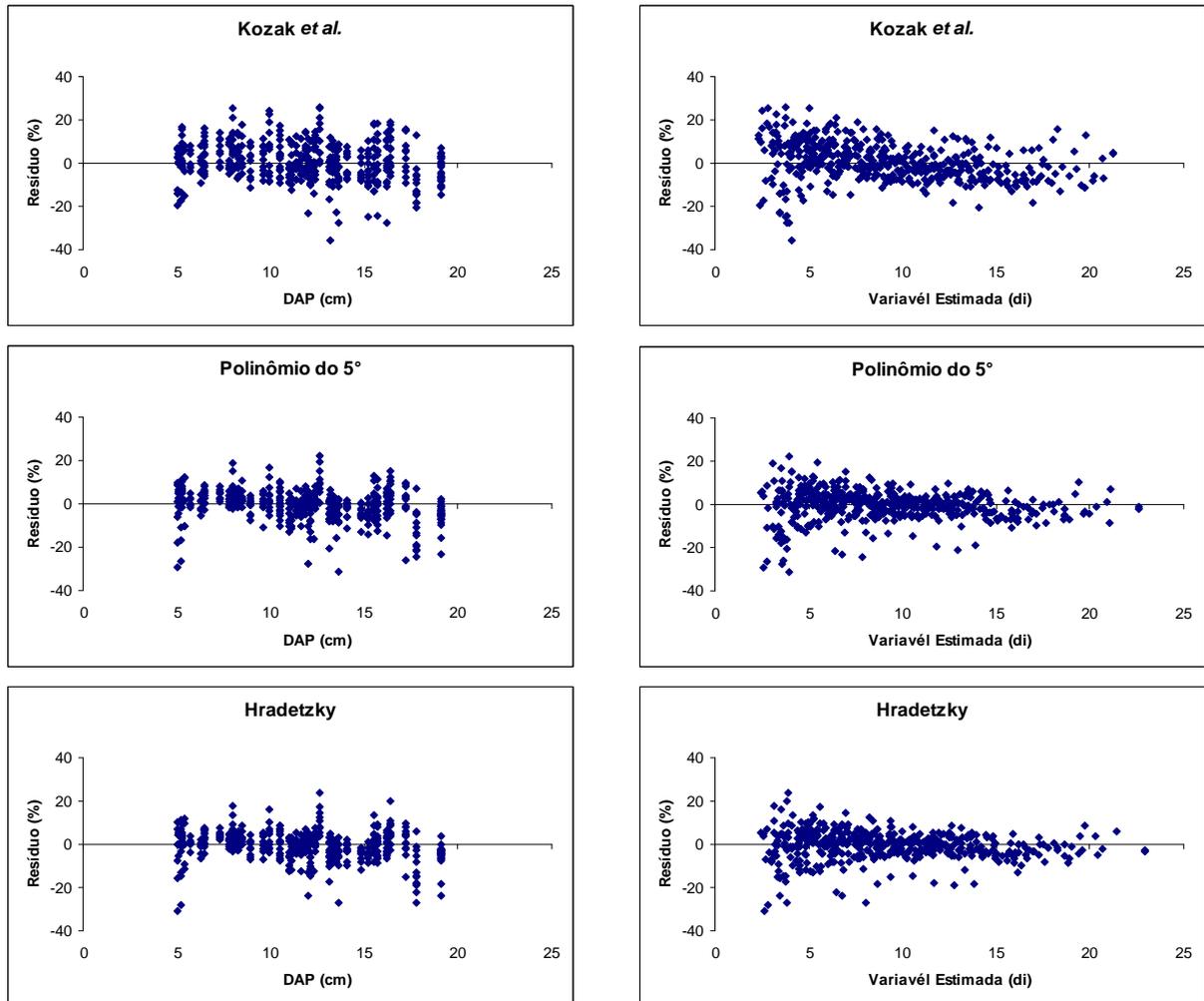


FIGURA 4.1. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS TRÊS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS.

Analisando os gráficos de dispersão de resíduos, existe certa semelhança por parte do Polinômio do 5º grau e o modelo de Hradetzky. No entanto ambos os modelos apresentam uma ligeira tendência de supertestimar nos maiores diâmetros, resultado este que não compromete as suas respectivas estimativas. O modelo de Kozak, apesar de não deixar evidenciada a tendência existente nos dois modelos

citados anteriormente, apresentou resíduos mais distantes da linha de regressão, sendo assim considerado inferior aos demais.

Devido a essa grande semelhança entre o modelo de Hradetzky e o Polinômio do 5º grau, analisando apenas o gráfico de resíduos visualmente não é possível identificar qual é superior. O erro padrão da estimativa passou a ser a estatística decisiva para a escolha do modelo que melhor represente as estimativas dos diferentes diâmetros do fuste a diferentes alturas pré-estabelecidas. Assim, o modelo de Hradetzky, foi ligeiramente superior ao polinômio de 5º grau, e por isso foi o modelo escolhido.

4.3.2 Ajuste dos modelos de afilamento para a estimativa do (di) sem casca

Na tabela 4.3, estão os resultados dos coeficientes dos modelos de afilamento ajustados para a estimativa do diâmetro sem casca ao longo do troco da árvore com suas respectivas estatísticas de ajuste e precisão.

TABELA 4.3 - COEFICIENTES DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS COM SUAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA A ESTIMATIVA DO di SEM CASCA.

MODELOS	COEFICIENTES	syx(cm)	syx (%)	R ² ajustado
Kozak	$b_0 = 1,25600$ $b_1 = -2,41060$ $b_2 = 1,19863$	0,99	8,4	0,9390
Polinômio do 5°	$b_0 = 1,19070$ $b_1 = -3,33394$ $b_2 = 12,7750$ $b_3 = -27,61740$ $b_4 = 27,09150$ $b_5 = -10,03340$	0,514	4,35	0,9834
Hradetzky	$b_0 = 1,20628$ $b_{0,01} = -12,0439$ $b_{0,005} = 11,71610$ $b_1 = -0,56105$ $b_4 = -0,315006$	0,500	4,29	0,9840

Analisando a Tabela 4.3, nota-se claramente que os modelos de Hradetzky e Polinômio do 5° grau, apresentam estatísticas de ajustes e precisão muito semelhantes para a estimativa do diâmetro sem casca ao longo do fuste, nas diferentes alturas pré-estabelecidas, como já tinha acontecido para a estimativa destes mesmos diâmetros, com casca. Pode-se perceber uma ligeira superioridade do modelo de potência fracionária de Hradetzky. Já o modelo de Kozak por sua vez apresentou as piores estatísticas novamente, porém mesmo assim estatísticas a se considerar, dentro de um erro admissível no meio florestal.

A Figura 4.2, mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa dos diâmetros sem casca (di), às diferentes alturas pré-estabelecidas, ao longo do fuste da árvore.

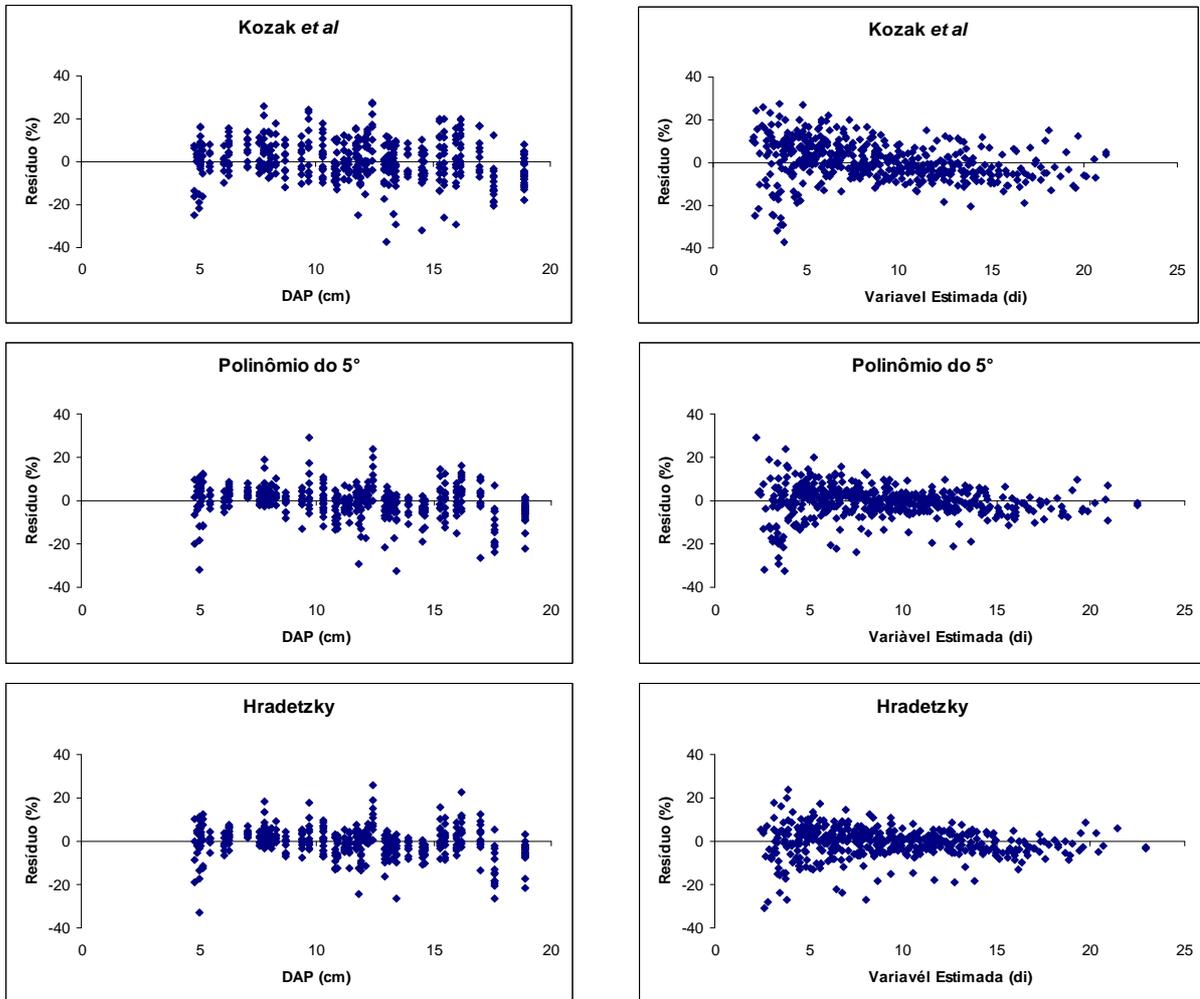


FIGURA 4.2. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS TRÊS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS.

Analisando os gráficos de dispersão de resíduos, é visível a mesma semelhança por parte do modelo do Polinômio do 5º grau e o modelo de Hradetzky, já vistas na estimativa do di com casca, assim como foi nas estatísticas de ajuste e precisão, novamente apresentando uma ligeira superestimativa nos maiores diâmetros, resultado este que não compromete as suas respectivas estimativas como mencionados anteriormente. O modelo de Kozak, manteve o mesmo padrão de dispersão de resíduos ao longo da linha de regressão apresentando erros mais distantes desta mesma linha, sendo assim considerado inferior aos demais.

O erro padrão da estimativa tornou vir a ser a estatística decisiva para a escolha do melhor modelo, a qual apontou mais um vez o modelo de Hradetzky como sendo ligeiramente superior ao modelo do Polinômio do 5° grau, e também superior ao de kozak. Estes resultados estão em consonância com a literatura, a qual menciona que o mix de potências inteiras e fracionárias proposto por Hradetzky, são mais flexíveis que os demais modelos, fazendo assim com que este modelo consiga representar de forma mais acurada o perfil do fuste das árvores.

4.3.3 Ajuste dos modelos de afilamento para a a estimativa do volume com e sem casca.

As integrais das funções de afilamento conforme citado na metodologia, geraram as equações de volume, com as quais foram calculadas as estatísticas afim de selecionar o modelo mais adequado para estimar o volume total com e sem casca.

Na Tabela 4.4 estão os resultados de ajuste e precisão dos modelos em que suas equações foram integradas para a obtenção da variável volume total com casca.

TABELA 4.4 - ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DAS EQUAÇÕES INTEGRADAS PARA A OBTENÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Kozak	0,0101	10,13	0,952
Polinômio do 5°	0,00805	8,85	0,9848
Hradetzky	0,009057	9,07	0,9844

Analisando a Tabela 4.4, percebe-se que o modelo de Hradetzky e o Polinômio do 5° grau, apresentaram estatísticas muito semelhantes e satisfatórias, como já tinha acontecido na estimativa do diâmetro ao longo do fuste, porém agora na estimativa do volume, o Polinômio do 5° grau apresentou resultados ligeiramente superiores ao de Hradetzky. Já as estatísticas de ajuste e precisão do modelo de Kozak, foram as piores dos três modelos ajustados.

A Figura 4.3 mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total com casca, sendo um dos critérios para a escolha do melhor modelo de afilamento para a estimativa da variável volume.

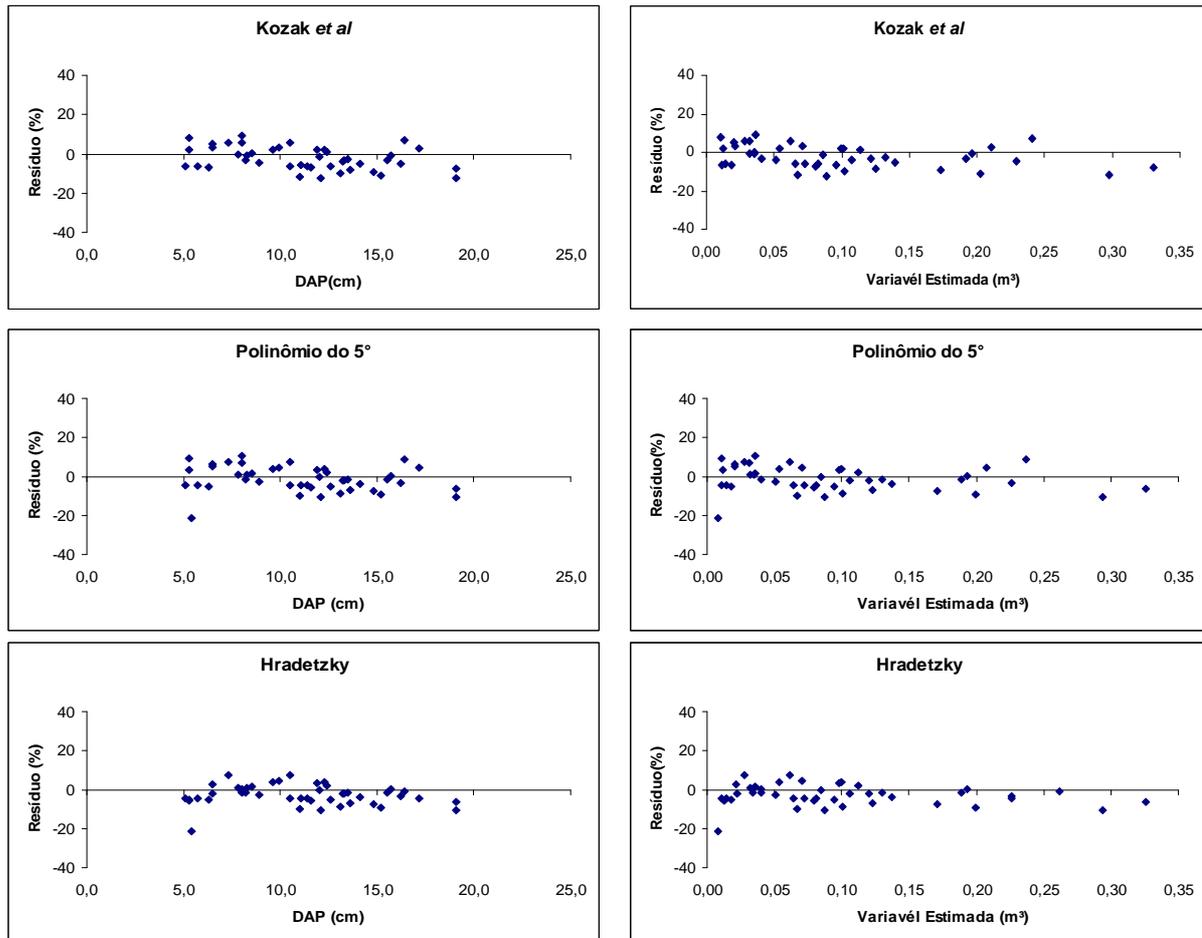


FIGURA 4.3. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS TRÊS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS.

Analisando os gráficos de resíduos é perceptível notar que o Polinômio do 5° grau, apresentou a melhor distribuição de resíduo ao longo da linha de regressão, não apresentando tendenciosidade. Por outro lado, tanto o modelo de Kozak, como o de Hradetzky, apresentaram uma ligeira tendência em superestimar os valores nas classes de maiores diâmetros.

Ao analisar o gráfico de resíduos, juntamente com as estatísticas de ajuste e precisão, o modelo de afilamento do Polinômio do 5° grau, apresentou-se como o mais apropriado para a estimativa do volume total com casca para este trabalho.

Na Tabela 4.5 estão os resultados de ajuste e precisão dos mesmos modelos apresentados anteriormente, referentes à integração das equações para a obtenção do volume total sem casca.

TABELA 4.5. ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DOS MODELOS DE AFILAMENTO USADOS PARA A OBTENÇÃO DO VOLUME TOTAL SEM CASCA.

MODELOS	syx(m)	syx (%)	R ² ajustado
Kozak	0,01001	10,88	0,947
Polinômio do 5°	0,009385	9,45	0,9840
Hradetzky	0,00982	9,70	0,9837

As estatísticas de ajuste e precisão para a obtenção do volume total sem casca, dos referidos modelos manteve a mesma ordem, com uma ligeira superioridade do modelo de afilamento do Polinômio do 5° grau, seguido de perto pelo de Hradetzky. O modelo de Kozak, por sua vez apresentou as piores estatísticas.

A Figura 4.4, mostra a distribuição gráfica dos resíduos para a estimativa do volume total sem casca.

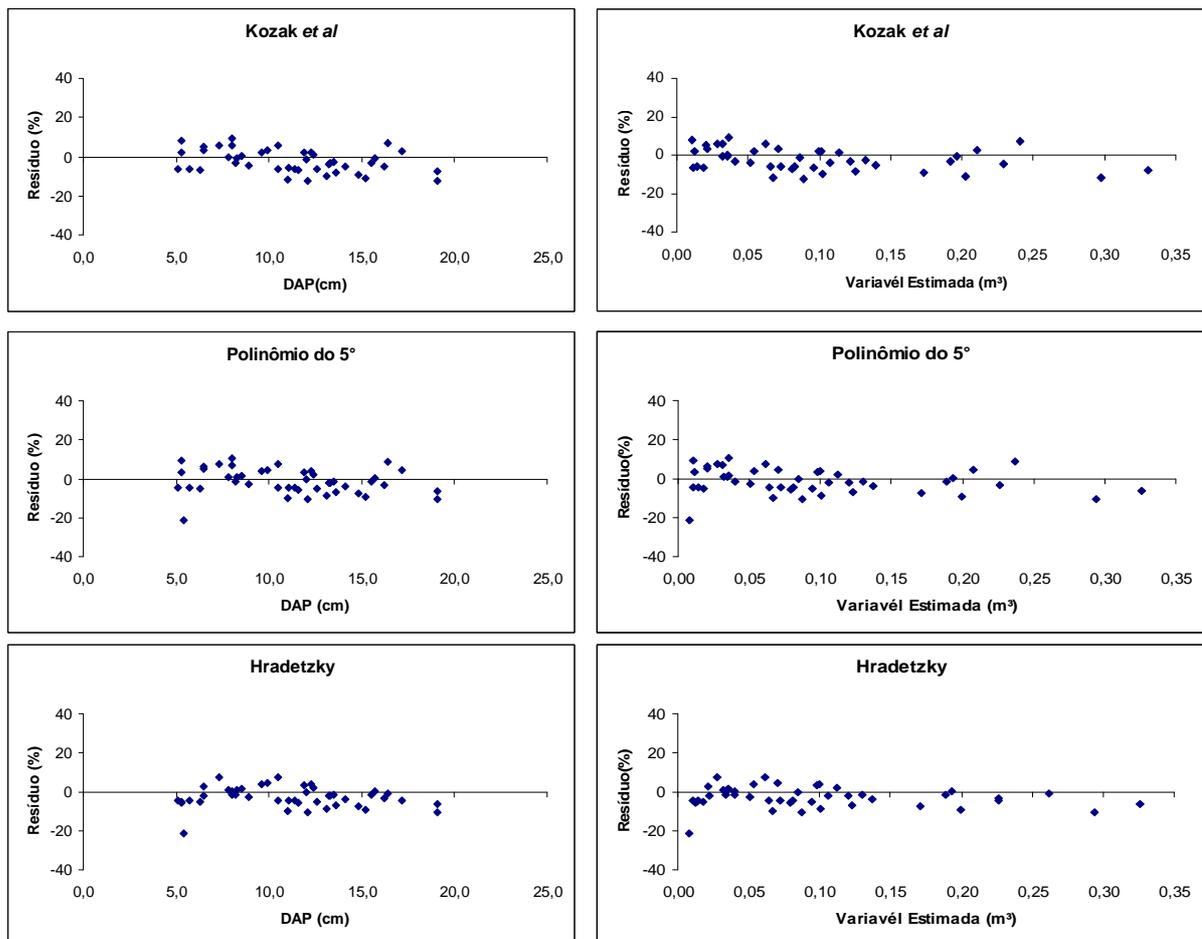


FIGURA 4.4. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS PERCENTUAIS EM FUNÇÃO DO DAP, E DA VARIÁVEL ESTIMADA PARA AS TRÊS EQUAÇÕES DE AFILAMENTO TESTADAS.

Assim como manteve a ordem das estatísticas de ajuste e precisão para a estimativa do volume total sem casca, nos gráficos de dispersão dos resíduos aconteceu o mesmo, ou seja, o Modelo de afilamento do Polinômio do 5º grau mostrou a melhor distribuição de resíduos ao longo da linha de regressão, sem nenhuma tendenciosidade visível, resultado este também encontrado por Schneider et al (1996), quando testaram 6 modelos de afilamento de tronco para a determinação do volume de um conjunto de árvores de *Eucalyptus grandis*, e chegaram a conclusão que o modelo polinomial do 5º grau apresentou os melhores resultados.

O modelo de Hradetzky e o de Kozak já apresentaram uma pequena tendência em superestimar o volume nas árvores de maiores diâmetros, sendo essa tendenciosidade, mais marcante no modelo de Kozak. Esta tendenciosidade mais acentuada no modelo de Kozak também foi comprovada por Queiroz (2006), testando modelos de afilamento para povoamentos de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba. Sendo assim o modelo do Polinômio do 5º grau foi ligeiramente superior aos demais

4.4 CONCLUSÕES

O Modelo de Potência Fracionária de Hradetzky apresentou as melhores estatísticas para a estimativa de diâmetro ao longo do fuste, tanto com casca como sem casca, seguido de perto pelo Modelo Polinomial do 5º grau, e as piores estatísticas ficaram com o modelo de Kozak *et al.*

Para a estimativa do volume total com e sem casca, o modelo Polinomial do 5º grau apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão, sendo ligeiramente superior ao Modelo de Potência Fracionária de Hradetzky, e novamente o modelo de kozak apresentou os piores ajustes.

Por estes resultados de ajuste e precisão o modelo Polinomial do 5º grau, foi a equação de afilamento mais apropriada para a estimativa da variável volume ao longo do fuste da árvore para o Plantio de *Eucalyptus urophylla* localizado na Região Norte do Estado de Goiás.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. In: **Boletim de pesquisa florestal, unidade regional de pesquisa florestal Centro-sul**, EMBRAPA, 03, 1981. p. 37 – 68.

ASSIS, A. L.; **Avaliação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda***. 189 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000;

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G.; **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**. 2.ed. ver. E ampl. – Viçosa: ed. UFV, 2006. 470p.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -.Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. A.; CARNEIRO, M. R. A. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). *Can. J. For. Res.* 30: 990 -997, 2000.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEER, T.W. **Forest mensuration**. 3.ed. New York: J. Wiley & Sons, 1982. 402p.

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

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimento para *Mimosa acabrella* Benthann em povoamentos nativos da Região Metropolitana de Curitiba**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M.; TOTTI, J.A.; BAZZO, J.L. **Forma de tronco e sortimento de madeira para *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. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 2006. v. 1. p. 443.

CAPITULO 5 - UTILIZAÇÃO DA FUNÇÃO DE PROBABILIDADE WEIBULL PARA PROGNOSE DA PRODUÇÃO POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Eucalyptus urophylla* NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS.

RESUMO

Este estudo realizado para um povoamento de *Eucalyptus urophylla*, com densidade inicial de aproximadamente 1666 árvores por hectare, (3x2). objetivou ajustar a distribuição de densidade de probabilidade Weibull aos dados do povoamento, visando representar a distribuição diamétrica do povoamento e ajustar modelos que representem seus atributos para projetar o crescimento e a produção por classe diamétrica e o rendimento dos múltiplos produtos da madeira na idade da rotação adotada pela empresa (sete anos). Os trabalhos foram realizados em propriedade da Empresa Anglo American plc (CODEMIM), localizada no município de Niquelândia, no estado do Goiás. Inicialmente foi ajustada a distribuição de probabilidade Weibull três parâmetros pelo método dos percentis, para o povoamento como um todo. Posteriormente, foram ajustados e selecionados modelos dos atributos do povoamento, utilizando se como critério de seleção o Gráfico de resíduos, Erro Padrão Residual (syx) e Coeficiente de Determinação (R²). Em seguida foi utilizado o modelo hipsométrico Trorey para obtenção da altura média das possíveis classes diamétricas, e utilizado o modelo de afilamento de 5° grau e o modelo volumétrico de Takata, visando a compatibilidade dos volumes por eles gerados. A função de densidade de probabilidade Weibull ajustada pelo método dos percentis quando submetida ao teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para $(\alpha = 0,05)$ se mostrou aderente, sendo assim utilizada juntamente com as equações que melhor expressam os atributos do povoamento para a realização da prognose por classe diamétrica para a idade de referência utilizada pela empresa (sete anos). Os resultados prognosticados foram coerentes com a produção do local, quando comparados com inventários já realizados na empresa em povoamento com essa faixa de idade.

Palavras-chave: *Eucalyptus urophylla*. Atributos do povoamento. Evolução do povoamento. Prognose da produção.

SUMMARY

This study was carried out in a stand of *Eucalyptus urophylla* with initial density of approximately 1666 trees per hectare (3x2 m). The objective was to adjust the Weibull density probability function using the data from the stand aiming to represent the diameter distribution and to adjust models that represent its attributes to project the growth and yield for each diameter class and the income of the multiple wood products at the rotation age adopted by the company (seven years). The study was carried out in an area of the Anglo American Company plc (CODEMIM), located in the county of Niquelândia, in the state of Goiás. Initially, the Weibull three parameter probability function was adjusted using the percentiles method for the stand as a whole. Later, models of the attributes of the stand were adjusted and selected based on the residuals graphical analysis, the standard error of estimate (syx) and on the Determination Coefficient (R^2). After that, the hypsometric model of Trorey was used to estimate the average height of each possible diameter class as was used the 5th degree taper model and the Takata volumetric model aiming the compatibility of the generated volumes by each method. The adjusted Weibull density probability function when subjected to the non parametric Kolmogorov-Smirnov test for ($\alpha= 0,05$) showed adherence, being thus used together with the equations that best express the stand attributes to accomplish the prognosis for each diameter class at the reference age used by the company (seven years). The foretold results were coherent with the local production when compared to inventories already carried out in the company in stands of the same age.

Key words: *Eucalyptus urophylla*. Attributes of the stand. Evolution of the stand. Prognosis of the production.

5.1 INTRODUÇÃO

A estrutura da floresta consiste na distribuição de árvores e suas dimensões em relação a uma unidade de área, resultado dos hábitos de crescimento das espécies, das condições ambientais e práticas de manejo. No estudo da estrutura da floresta, a distribuição diamétrica é uma ferramenta básica, amplamente difundida e aplicada, constituindo o meio mais simples e eficaz para descrever as características de um povoamento (BARTOSZECK, 2000).

A distribuição diamétrica é um ótimo indicador do estoque em crescimento das florestas, sendo a forma mais potente para descrever as propriedades de um povoamento. A variável diâmetro, obtida por medição direta das árvores, é bem correlacionada com outras variáveis importantes, tais como o volume, além de outras como qualidade de produção e custos da exploração (BAILEY & DELL, 1973).

De acordo com Scolforo (1998), em florestas plantadas a distribuição diamétrica é básica para que a predição ou prognose da produção possa ser implementada. No caso da análise da estrutura diamétrica existe o interesse em descrever a distribuição de frequência do diâmetro através do uso de funções de densidade de probabilidade. Uma função de densidade de probabilidade define a probabilidade associada com cada valor da variável em estudo, ou ainda, descreve a distribuição de frequência relativa e, ou, absoluta, dos vários tamanhos de árvores (CAMPOS & LEITE, 2006).

Os modelos de distribuição diamétrica podem estimar o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presente e futura. A partir daí, o emprego de uma equação de volume, de afilamento ou de razão volumétrica, permite estimar a produção por classe de diâmetro, sendo relevante em situações em que há interesse em multiprodutos da madeira.

Segundo Maltamo (1995), citado por Arce (2004), os resultados obtidos com as diferentes distribuições probabilísticas dependem do método utilizado para estimar os parâmetros e do critério empregado para a sua comparação. Alguns dos métodos tradicionais para a estimativa dos parâmetros são o Método dos Momentos, o Método da Máxima Verossimilhança, o Método dos Percentis e o Método da Regressão Linear (SCOLFORO, 1998; ARCE, 2004).

O eucalipto e a árvore mais plantada no mundo, além de ter usos em diversos segmentos de mercados, características essas que justificam maiores esforços na

busca de projeções de crescimento e produção mais detalhadas, pois uma vez obtidas essas projeções detalhadas é possível prescrever regimes de manejo mais adequados que visem a qualidade do produto final, além de permitir a descrição de um plano de suprimento para a indústria florestal, sempre visando a maximização dos lucros.

Os estudos realizados em um povoamento de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) na região Norte do Estado de Goiás, tiveram como objetivos:

- Ajustar a função de densidade de probabilidade (f.d.p), Weibull, pelo método dos percentis;
- Selecionar os modelos que melhor apresente os seguintes atributos do povoamento de eucaliptos: sítio, sobrevivência, altura, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, área basal, média aritmética dos diâmetros e diâmetro percentil;
- Estimar o crescimento e produção por classe diamétrica por meio da função acumulada e modelos que representem os atributos para o intervalo de idade entre 5 e 7 anos;
- Estimar o rendimento de múltiplos produtos da madeira para o povoamento estudado, na idade prevista para a rotação técnica/silvicultural adotado pela empresa.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização da área de estudo do povoamento

A prognose por classe diamétrica foi realizada utilizando as informações dendrométricas de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* localizado na região norte do estado de Goiás, cujas características do local são as mesmas descritas no item 2.2.2 do capítulo 2. E as informações do povoamento são as mesmas do item 3.2.1 do capítulo 3.

O povoamento referido ainda não sofreu desbaste, pois esta prática não é aplicada pela empresa. No entanto, passaram por tratamentos silviculturais de roçagem, controle de formigas, dentre outros. Sendo assim, a mortalidade existente no povoamento é devido à qualidade do local e da competição entre os indivíduos, situação essa descrita por Clutter *et al.* (1983), como adequada para a realização de uma boa projeção da produção florestal.

5.2.2 Base de dados do povoamento estudado

As informações advindas do inventário florestal realizado na área para as idades três e cinco anos, juntamente com dados silviculturais (densidade inicial, sobrevivência), foram a base utilizada para realizar a projeção dos atributos do povoamentos necessários para fazer a prognose por classe diamétrica.

Os inventários realizados nos anos três e cinco tinham como objetivo conhecer as características qualitativas do povoamento e, principalmente, conhecer o estoque de madeira, e ao mesmo tempo analisar o comportamento da curva de produção, no decorrer dos anos.

Foram utilizadas 21 parcelas permanentes de 480m² cada, com forma retangular. O procedimento de amostragem empregado para os dois anos de medição foi a amostragem casual simples.

Em cada unidade amostral instalada foram coletadas informações referentes a: diâmetro á altura do peito (DAP), altura total (Ht) e altura das árvores dominantes (Hdom), pelo conceito de Assmann. Para coleta do DAP, as árvores da unidade

foram medidas com fita métrica. Na coleta da altura total e dominante foi utilizado o hipsômetro de *Blume-Leiss*.

5.2.3 Classificação de sítio

Para a classificação de sítios foi considerado o conceito de árvores dominantes proposto por Assmann. A classificação de sítio foi possível após a seleção da equação que permitiu definir os limites inferiores e superiores de cada classe de sítio definidas para a idade de referencia de 84 meses (7 anos). Esta idade foi escolhida por ser comumente adotada pelas empresas e empreendedores ligados ao meio florestal como sendo a época de corte das florestas de eucaliptos, adotada pela presente empresa.

Para selecionar a melhor equação de sítio, foram avaliados sete modelos pelo método da curva guia, na qual foram analisados os gráficos de dispersão dos resíduos, o erro padrão da estimativa, o coeficiente de determinação ajustado e principalmente o critério de instabilidade que cada equação oferece no decorrer dos anos para as parcelas em estudo, diagnosticando a capacidade que a equação tem de mantê-las nos respectivos sítios.

5.2.4 Ajuste da função de densidade Weibull para a representação da estrutura diamétrica do povoamento de *Eucalyptus urophylla*.

Segundo Arce (2004), a distribuição diamétrica é a ferramenta mais simples e poderosa para caracterizar a estrutura de uma floresta. De um modo geral, o diâmetro se correlaciona muito bem com outras variáveis importantes como altura, volume, valor, custo de conversão e tipificação de produtos.

Segundo Figueiredo (2005), ultimamente as distribuições diamétricas em povoamentos florestais têm sido modeladas por meio de funções matemáticas, como as funções de densidade de probabilidade (f.d.p). Estas funções permitem estimar a provável distribuição que apresentam os diâmetros, descrevendo a estrutura de um povoamento, a qual facilita o planejamento da produção da floresta.

O físico sueco Wallodi Weibull desenvolveu, em 1939, uma função estatística para descrever o tempo de vida de materiais sob cargas que causava fadigas e rupturas. Porém, este método estatístico pode ser e vem sendo aplicado em diversas outras áreas inclusive no meio florestal. Weibull se fundamentizou sua teoria partindo do princípio que o elo mais fraco de uma corrente pode descrever o comportamento e a resistência mecânica dos materiais, onde o ponto mais fraco define a resistência do corpo inteiro.

No meio florestal a distribuição Weibull foi aplicada primeiramente em 1973 por Bailey e Dell, mas desde então vários trabalhos de modelagem do crescimento, tanto nacionais como internacionais vem utilizando a distribuição probabilística de Weibull devido uma constante superioridade às demais (EISFELD 2004).

Péllico Netto (1993) mencionou que sua superioridade na grande maioria dos casos está atribuída à sua grande flexibilidade, sendo apropriada para o ajustamento das distribuições diamétricas assimétricas, devido seus parâmetros apresentarem correlação com as variáveis do povoamento. Segundo o mesmo autor esta distribuição pode ser considerada como uma forma genérica das distribuições exponencial por ela ter três parâmetros, que determinam sua amplitude, sua forma e também os seus momentos, onde o seu parâmetro “c” de forma pode assumir diversos tipos de distribuição.

Associada a f.d.p., existe a função de distribuição acumulada $\{F(x)\}$, definida pela integral da própria f.d.p., cuja área delimitada entre o intervalo $[a, b]$, encontra sob a curva, define a probabilidade das árvores estarem contidas na distribuição.

Uma função de probabilidade $f(x)$ é de fato uma f.d.p. se x satisfaz às seguintes condições:

- $f(x) \geq 0$ para todos valores de x dentro do intervalo considerado;
- $f(x) \times x = 1$;
- $f(x) = 0$, se x está contido fora do intervalo considerado.

Assim, a probabilidade de x ocorrer num intervalo depende da integral:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx.$$

A função de distribuição acumulada $F(x)$ é o resultado da integral de $f(X)$ e estima a probabilidade da variável x assumir um valor menor ou igual a x .

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx,$$

Suas propriedades são:

- não é decrescente;
- quando x tende a mais infinito $f(x) = 1$
- quando x tende menos infinito $f(x) = 0$;
- $P(a \leq x \leq b) = F(b) - F(a)$ para $a < b$.

Para obter os parâmetros da distribuição Weibull três métodos de ajuste tem sido descritos na literatura: máxima verossimilhança, momentos e percentis, descritos por inúmeros autores. Os três parâmetros da distribuição Weibull são os parâmetros “a” (Parâmetro de locação) representará o menor limite da distribuição. É sabido que a distribuição Weibull é uma função muito flexível, podendo assim assumir diferentes formas e que uma distribuição diamétrica necessita. O parâmetro “c” é responsável pelas diferentes inclinações na distribuição, e por sua vez o parâmetro “b” é o responsável pela escala.

O parâmetro de locação (a) nos três métodos de ajuste apresenta-se como um termo independente que deve ser conhecido previamente para obter o parâmetro de escala e forma. Na maioria dos casos, através de um processo iterativo, calcula-se o parâmetro (a) como uma porcentagem do diâmetro mínimo de cada unidade de amostragem considerada ou mesmo o diâmetro mínimo sendo (a), ou pressupõe-se um certo valor. Posteriormente, obtêm-se os demais parâmetros e avalia-se a qualidade do ajuste através de testes de aderência.

Existem duas possibilidades de apresentar a função Weibull, que são com 2 e 3 parâmetros. No presente trabalho utilizou-se a Weibull 3 parâmetros.

No caso da distribuição Weibull 3 parâmetros tem-se:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) * \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} * \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right)$$

Onde:

a = parâmetro de locação;

b = parâmetro de escala;
 c = parâmetro de forma; e,
 x = variável de interesse (diâmetro de centro de classes)

A opção de ajuste foi a da função Weibull pelo método dos percentis, em que foram considerados os diâmetros percentis 30 e 90, conforme diversos autores que trabalham com este tipo de modelagem para povoamentos florestais, dentre eles Scolforo (1998).

Definindo $F(x) = \text{PERCENTIL}$ quando $x = D \text{ PERCENTIL}$, em que PERCENTIL é igual a percentil/100 e D PERCENTIL é igual Diâmetro percentil, a estimativa dos demais parâmetros da distribuição Weibull pode ser então obtida a partir de:

- $D \text{ PERCENTIL} = X_{p_1}$ quando percentil = p_1 ; $D \text{ PERCENTIL} = X_{p_2}$ quando percentil = p_2 .

Sendo assim, uma vez estabelecido o parâmetro (a), o parâmetro c pode ser obtido a partir de:

$$c = \frac{\text{Ln}(-\text{Ln}(1 - p_1)) / -\text{Ln}(1 - p_2))}{\text{Ln}\left(\frac{(X_{p_1} - a)}{(X_{p_2} - a)}\right)}$$

Uma vez obtido o parâmetros “c”, já que o parâmetro “a”, é previamente conhecido, pode se então obter o parâmetro “b”, conforme apresentado a seguir:

$$b = \frac{X_{p_1} - a}{(-\text{Ln}(1 - p_1))^{1/c}}$$

Onde:

X_{p_1} = diâmetro percentil 1;
 X_{p_2} = diâmetro percentil 2;
 p_1 = percentil 1;
 p_2 = percentil 2;
 Ln = logaritmo natural; e,
 a, b, c = coeficientes da função já definidos anteriormente.

Uma vez obtidos os parâmetros da distribuição Weibull, é possível descrever a frequência teórica e compará-la com a frequência observada, nas diferentes classes diamétricas estabelecidas, sendo assim é empregado o teste de aderência não paramétricos de Kolmogorov –Smirnov.

Segundo Maestri (2003), na maioria dos casos é empregado o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov indicado para avaliar a distribuição teórica de um conjunto de dados. Este teste é muito sensível a qualquer diferença do valor central e da dispersão. Sendo assim este teste é adequado para avaliar o ajuste das distribuições quando comparado com os teste G (Log. Likelihood ratio) e o (Qui-quadrado). O teste de Kolmogorov-Smirnov pode ser aplicado para pequenas e grandes amostras e trata os dados individualmente, não perdendo informação devido ao agrupamento, como ocorre nos outro dois citados.

Seja $F_0(X)$ uma distribuição teórica acumulada e $S_n(X)$ uma distribuição observada em uma amostra de “n” observações. Encontra-se a seguir o maior valor das diferenças (D) entre $F_0(X)$ e $S_n(X)$, ou seja:

$$D = \max |F_0(X) - S_n(X)|$$

Sendo assim, este teste compara a frequência observada com a frequência acumulada, e onde houver a maior divergência entre as duas distribuições é o valor D do teste, que seqüencialmente é comparado com um D tabelado, para observar se a distribuição oferece boa aderência ou não.

5.2.5 Seleção de modelos dos atributos do povoamento

A estimativa dos atributos do povoamento, como área basal, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, diâmetro médio, diâmetro percentil XP_1 e XP_2 , sobrevivência juntamente com a distribuição Weibull, permitirá realizar a projeção do número de indivíduos para a idade de referência (sete anos). Para isso foram ajustados e selecionados diversos modelos, os quais foram testados por Scolforo & Machado (1996), Thiersch (2002), Abreu *et al.* (2002), e estão apresentados em Scolforo (2006).

Na seleção das equações mais precisas, os critérios foram definidos para seleção das equações que apresentaram o melhor gráfico de resíduos, menor erro padrão da estimativa (syx) e maior coeficiente de Correlação (R^2 .ajustado). Para obter os volumes projetados visando estimar os múltiplos produtos da madeira, foi necessário a utilização do modelo Hipsométrico Trorey objetivando a estimativa da

altura total, este modelo foi escolhido por ter apresentado as melhores estáticas de ajuste e precisão, conforme mostrado no Capítulo 3, do presente trabalho.

Os múltiplos produtos foram obtidos pelo o ajuste do modelo de potência de 5° grau, proposto por Schöepfer (1966). Este modelo foi selecionado por apresentar as melhores estatísticas de ajuste e precisão conforme apresentado no Capítulo 4, do presente trabalho, onde foi possível verificar sua compatibilidade utilizando o modelo de Takata, selecionado no Capítulo 2.

5.2.6 Projeção do crescimento e da produção

A projeção do crescimento e da produção do volume e dos múltiplos produtos por classe diamétrica para o povoamento de *Eucalyptus urophylla* situado na Região Norte do Estado de Goiás foi possível adotando os atributos do povoamento definidos pelo ajuste dos modelos para obtenção da estimativa da área basal, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, diâmetro médio, diâmetro percentil XP_1 e XP_2 e sobrevivência, prognosticada para a idade 7 anos.

Com os parâmetros estimados para a distribuição Weibull, pôde-se encontrar a probabilidade das árvores ocorrerem em cada classe diamétrica. O produto desta probabilidade pelo número estimado de árvores sobreviventes no ano de referência permitiu estimar o número de árvores em cada classe diamétrica.

Obtidos os números de árvores em cada classe diamétrica, junto com a equação hipsométrica selecionada, foi possível obter a altura total das árvores de acordo com cada valor central da classe diamétrica.

Para a obtenção do volume basta utilizar os diâmetros e as alturas de cada classe diamétrica projetada, na equação de volume ajustada para gerar a compatibilidade da função de afilamento e, posteriormente, obter os múltiplos produtos pela função de afilamento do 5° grau proposto por Schoepfer (1966), de acordo com as especificações descritas na Tabela 5.1.

TABELA 5.1 - ESPECIFICAÇÃO DOS MÚLTIPLOS PRODUTOS DA MADEIRA PARA O *Eucalyptus urophylla*.

DIÂMETRO DA PONTA FINA (cm)	COMPRIMENTO (m)	MERCADO
25	4,0	Serraria
18	2,8	Pallets
7	2,6	Celulose
< 7	-	Energia

5.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.3.1 Inventário Florestal

Foram analisadas 21 parcelas permanentes no povoamento estudado, nas quais foram calculados para a variável de interesse volume total, os seguintes estimadores: média, variância, desvio padrão, variância da média, erro padrão, coeficiente de variação, erro do inventário e intervalo de confiança, conforme apresentado na Tabela 5.2

TABELA 5.2 - CARACTERÍSTICAS E ESTIMATIVAS PARA O VOLUME DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla*, NO MUNICÍPIO DE NIQUELÂNDIA NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS, COM UMA IDADE DE CINCO ANOS.

CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO		ESTATÍSTICAS DO INVENTÁRIO	
Área do Inventário (ha)	243	Média (Por U.A)	6,31610 m ³
Tamanho da U.A (m ²)	480	Variância (Por U.A)	0,32268 m ⁶
Densidade Inicial	1666	Desvio padrão (Por U.A)	0,56805 m ³
Nº de U.A Cabíveis (N)	4860	E. Padrão da Média Absoluto (Por U.A)	0,1230 m ³
E. do Inventario Admissível	10%	E. Padrão da Média Relativo (Por U.A)	1,95 %
Nº de U.A. Alocadas	21	Coeficiente de variação	9,00 %
Dap médio (cm)	11,30	Volume por Hectare	131,5855 m ³
Altura Média (m)	19,86	Erro do Inv. Absoluto	0,25730 m ³
Dmin (cm)	5,00	Erro do Inv. Relativo	5,53%
Dmax (cm)	18,62	Int. de Confiança Inferior (Por ha)	125,0025m ³
Indivíduos /ha médio	1550	Int. de Confiança Superior (Por ha)	138,7275 m ³
Mortalidade	116	Intensidade Amostral	21

Em que: U.A. : unidade amostral, DAP : diâmetro à altura do peito, Dmin : diâmetro mínimo, Dmax: diâmetro máximo, E : erro e Int : intervalo.

O volume total com casca estimado aponta resultados compatíveis com a literatura. Trabalhos realizados por Scolforo na região norte do estado de Minas Gerais, onde os solos predominantes apresentam características semelhantes com os solos do povoamento estudado, o crescimento médio anual (IMA), varia entre 25 a 50 m³ por hectare para plantios de *Eucalyptus urophylla*.

5.3.2 Ajuste da distribuição Weibull

O resultado da distribuição contínua de probabilidade Weibull, onde seus coeficientes a,b e c respectivamente são(5,03; 4,71 e 7,61) caracterizada como distribuição teórica, juntamente com a distribuição observada ou distribuição real do povoamento para o ano cinco, último ano de medições em campo, pode ser observada na Figura 5.1

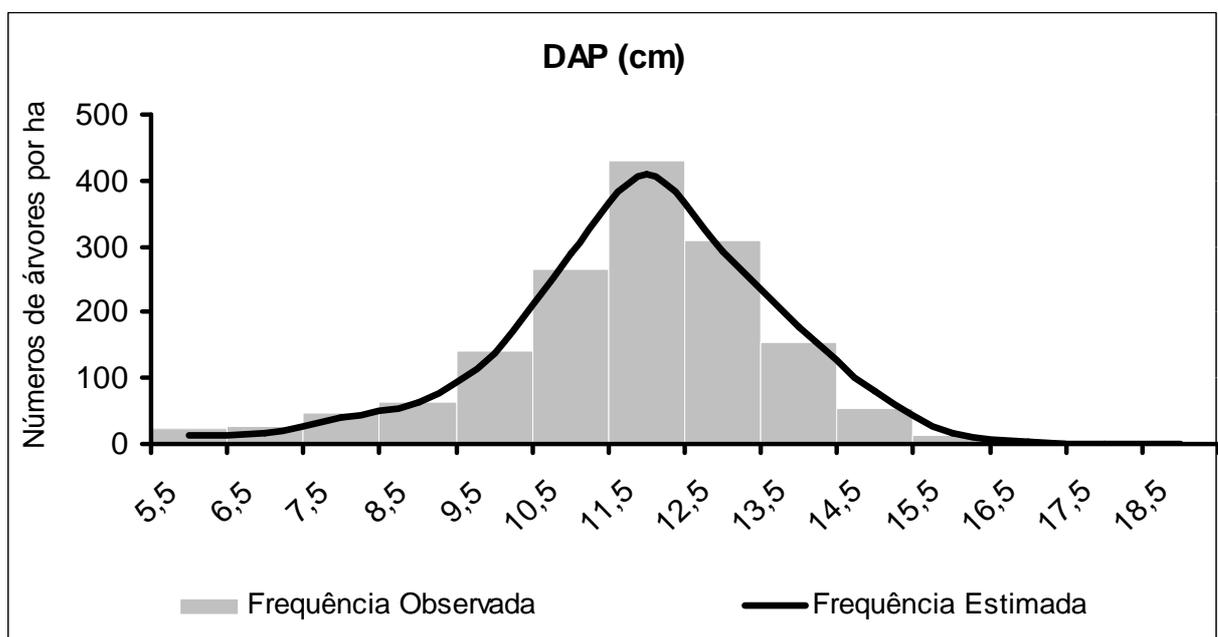


FIGURA 5.1 - DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA OBSERVADA E TEÓRICA CONTÍNUA PELA FUNÇÃO WEIBULL TRÊS PARÂMETROS DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla*.

A figura 5.1 mostra a distribuição observada representada pelas colunas nas diferentes classes de diâmetro, contrastada com a distribuição teórica estimada pela função Weibull três parâmetro, desenvolvida pelo método dos percentis,

representada pela curva traçada sobre o histograma da freqüência na idade cinco do povoamento.

O resultado da análise gráfica da distribuição Weibull x a distribuição observada, deve ser confirmada por meio de um teste formal não paramétrico que avalie a aderência da curva de distribuição teórica e a curva de distribuição observada. Para isso foi empregado o teste de Kolmogorov-Smirnov, cujos resultados encontram-se na Tabela 5.3.

TABELA 5.3 - VALORES DE KOLMOGOROV-SMIRNOV DE MÁXIMA DIVERGÊNCIA ENTRE A DISTRIBUIÇÃO OBSERVADA E A DISTRIBUIÇÃO TEÓRICA DA FUNÇÃO WEIBULL TRÊS PARÂMETROS.

n°árvores obs/ha	n°árvores est/ha	<i>D</i> Calculado	<i>D</i> Tabelado	Resultado do teste ($\alpha = 0,05$)
1536	1535	0,031854	0,034701	N.S.

Após realização do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov, a freqüência teórica advinda da distribuição Weibull três parâmetros se mostrou aderente com a distribuição observada do povoamento. Sendo assim, foi utilizada para a projeção do número de indivíduos por classes diamétricas para o ano sete.

5.3.3 Modelos para a prognose do crescimento e da produção

Para proceder a prognose de crescimento e produção foi utilizada a função de distribuição probabilística (f.d.p) Weibull de três parâmetros ajustada pelo método dos percentis. O teste de Kolmogorov-Smirnov para ($\alpha = 0,05$) revelou que esta distribuição apresentou boa aderência com a distribuição observada.

Os modelos que expressam os atributos do povoamento referentes a: sobrevivência, altura dominante, área basal, diâmetro mínimo, diâmetro máximo, média dos diâmetros, diâmetro percentil 30 e diâmetro percentil 90, relação hipsométrica, equação de volume e função de afilamento encontram-se na Tabela 5.4.

TABELA 5.4- EQUAÇÕES QUE EXPRESSAM OS ATRIBUTOS DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* PARA REGIÃO NORTE DO ESTADO DE GOIÁS

Atributos	Equações selecionadas	R ² aj.	syx	syx(%)
Sítio	$H_{dom} = 23,6772 * (1 - \exp(-30,1997 * Id))^{0,0140213}$	0,85	1,18 m	6,31
Sobrevivência	$N_2 = N_1 * \exp\left(-0,0602076 * (Id_2 - Id_1) + 0,0844695 * \left(\frac{\ln Id_2}{\ln Id_1}\right)\right)$	0,96	20,0 arv	1,37
Área Basal	$G = 631,022 - 9,1375 * H_{dom} + 0,0770259 * N - 93,9344 * \ln(N)$	0,94	0,86 m ²	5,73
Dmin	$D_{min} = 33,7934 - 6,14222 * Id + 0,3961 * H_{dom} + 9902,8 * \left(\frac{1}{N}\right)$	0,89	0,52 m	9,09
Dmax	$D_{max} = 7,7165 + 0,0598148 * H_{dom}$	0,92	1,22 m	8,22
Dméd	$D_{med} = 9,25251 - 0,0040878 * N_2 + 0,147689 * G_2 + 0,27483 * H_{dom_2}$	0,96	0,20 m	1,84
Dp30	$D_{p30} = 2,86731 - (0,00016034 * N_2) - (0,075231 * D_{max}) + (0,8156 * D_{med})$	0,86	0,13 cm	1,27
Dp90	$D_{p90} = -5,3748 + (0,00015079 * N_2) - (0,31875 * D_{max}) + (1,0182 * D_{med})$	0,92	0,20 cm	1,55
Mod Hipsom.	$Ht = 2,9604022 + (1,96985 * DAP) + (-0,045685 * (DAP^2))$	0,758	1,20 m	6,40
Mod Vol	$Vt = \frac{DAP^2 * Ht}{29466,2422041 + (10,975966 * DAP)}$	0,988	0,0044m ³	8,86
Modelo de afilamento	$d_i = DAP * \left[\begin{array}{l} 1,18505 - 3,34565 * \left(\frac{h_i}{Ht}\right) + 13,0994 * \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^2 - 28,9369 * \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^3 \\ + 28,7884 * \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^4 - 10,7912 * \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^5 \end{array} \right]$	0,9875	0,008 m ³	8,85

R² aj: coeficiente de determinação ajustado; Syx: erro padrão da média corrigido para a variável de interesse; Id₁ e Id₂: idades, H_{dom2}: altura dominante na idade Id₂; H_{dom1}: altura dominante na idade Id₁; N₁ e N₂: número de árvores sobrevivente nas respectivas idade; G: área basal; D_{min}: diâmetro mínimo; D_{max}: diâmetro máximo; D_{med}: média dos diâmetros; D_{p30}: diâmetro percentil 30; D_{p90}: diâmetro percentil 90 e Ln: logaritmo natural; Vt: volume total; Ht: altura total; DAP: diâmetro a altura do peito; h: altura a diferentes diâmetros

A equação de sítio resultou do ajuste do modelo de Chapman & Richard, pelo método da curva guia, pois este modelo apresentou satisfatória precisão para a classificação de sítios, e uma estabilidade considerável, conforme apresentado no Capítulo 2. O modelo de sobrevivência selecionado foi o proposto por Lenhart.

O modelo de área basal apresentou estatísticas satisfatórias, não havendo tendências na estimativa da variável ao longo da linha de regressão.

Os modelos para prever o diâmetro mínimo, diâmetro máximo, diâmetro médio, diâmetros percentis 30 e 90, foram obtidos mediante o procedimento estatístico *Stepwise*. Todos modelos selecionados apresentaram estatísticas satisfatórias, não acarretando super e nem subestimativas das variáveis estimadas, podendo assim ser utilizado sem prejudicar ou comprometer as estimativas.

Para estimativa da altura total foi selecionado o modelo Trorey, como sendo o modelo que apresentou melhores estatísticas, para a estimativa do volume, o modelo selecionado foi o proposto por Takata, o qual apresentou estatísticas boas e

com dispersão de resíduos sem nenhuma tendenciosidade. E por fim o modelo selecionado para a estimativa dos múltiplos produtos possíveis de se obter do povoamento de acordo com diâmetros mínimos pré-estabelecidos, na idade de referencia, foi o modelo polinomial de 5º grau.

5.3.4 Prognose do número de indivíduos por classe diamétrica

Com a utilização das equações referentes aos atributos do povoamento e a classificação de sítios foi possível projetar os atributos para a idade 7 e assim com a distribuição probabilística Weibull pelo método dos percentis foi estimada a estrutura diamétrica para o ano três (3), o ano cinco (5) e projetada a estrutura diamétrica para a idade determinada (7 anos). A Figura 5.2, mostra a evolução das classes diamétricas do povoamento com o passar dos anos.

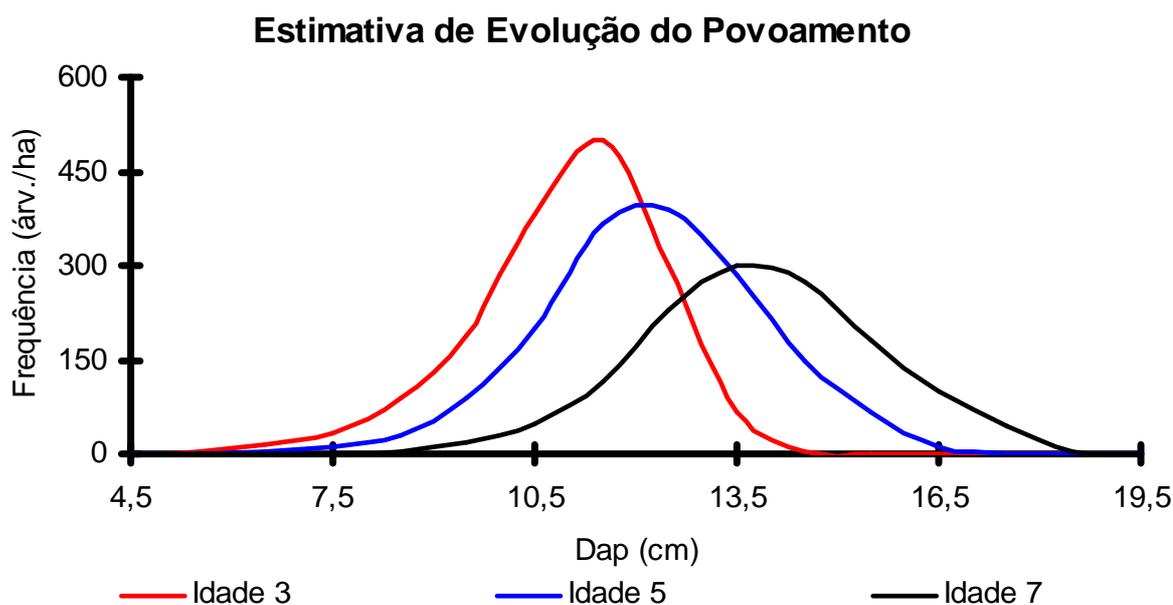


FIGURA 5.2 - EVOLUÇÃO DIAMÉTRICA DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla*, PREDITO PELA FUNÇÃO WEIBULL, DO ANO TRÊS, PARA O ANO CINCO E POSTERIORMENTE PARA O ANO SETE.

Conforme pode-se observar na Figura 25, existe um maior achatamento na curva de distribuição diamétrica à medida que vai aumentando a idade, e junto a isso um deslocamento da média para a direita, o que representa relativamente menor densidade, porém diâmetros maiores caracterizando-se uma maior produção volumétrica.

Visando a melhoria dos estimadores volumétricos para o ano projetado (ano sete), a distribuição diamétrica do povoamento descrita pela função Weibull, foi ajustada por Sítio. Para isso, foram calculados, para cada sítio (três), os parâmetros de locação (a), escala (b), e forma (c) da f.d.p Weibull para a idade projetada (7), cujos valores dos parâmetros da distribuição para os diferentes sítios encontram-se na Tabela 5.5.

TABELA 5.5- ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS A, B E C DA FUNÇÃO WEIBULL POR SÍTIO NA IDADE PROJETADA.

PARÂMETROS	SÍTIO I	SÍTIO II	SÍTIO III
a	7,39	6,34	5,52
b	8,68	5,91	6,91
c	5,86	3,21	4,00

Estimados os parâmetros “a”, “b” e “c”, obtém-se a probabilidade de ocorrência do diâmetro por classe diamétrica, o que multiplicado pelo número de árvores (N), juntamente com a amplitude de classe na referida idade, propicia obter a frequência estimada por sítio em cada classe determinada a partir do diâmetro mínimo, conforme mostra a Tabela 5.6.

TABELA 5.6 - ESTIMATIVA DO NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE AOS 7 ANOS POR CLASSE DE DIÂMETRO E POR SÍTIO.

VALOR CENTRAL DAS CLASSES DE DIÂMETRO (cm)	SÍTIO I	SÍTIO II	SÍTIO III
6,5	-	-	2
7,5	6	10	19
8,5	20	75	64
9,5	45	130	140
10,5	67	210	233
11,5	80	230	300
12,5	200	273	294
13,5	250	180	210
14,5	360	110	101
15,5	310	101	31
16,5	160	89	5
17,5	35	49	0
18,5	3	22	0
19,5	2	1	0
20,5	1	-	0
21,5	-	-	0
TOTAL	1540	1479	1400

Uma vez obtido o número de árvores em cada classe, pela função probabilística Weibull, juntamente com o valor central da classe diamétrica, e como a relação hipsométrica ajustada é possível obter-se a altura média da classe de diâmetro. Sendo assim o volume pode ser obtida por classe diamétrica nos diferentes sítios, por um modelo de volume, ou mesmo uma função de afilamento.

Visando a compatibilidade da função de volume (Modelo e Takata), com a função de afilamento (Polinômio do 5º), projetada para o ano sete as Tabelas 5.7(Sítio I), 5.8 (Sítio II), e 5.9 (Sítio III), mostram os valores que cada equação fornece por hectare nas diferentes classes diamétricas. Em função do DAP, (diâmetro a altura do peito) e de Ht (altura total), multiplicados pelo provável número de árvores em cada classe diamétrica projetada pela função Weibull.

TABELA 5.7 - VOLUME PROJETADO PARA O ANO 7 POR CLASSE DIAMÉTRICA, PELO MODELO VOLUMÉTRICO DE TAKATA, E PELO MODELO DE AFILAMENTO DO POLINÔMIO DO 5º GRAU, PARA O SÍTIO I.

DAP (cm)	H TOTAL (m)	FRE	MODELO VOLUMÉTRICO	MODELO DE AFILAMENTO
6,5	13,83	0	0,0000	0,0000
7,5	14,65	7	0,1732	0,207871
8,5	15,10	21	0,6819	0,737066
9,5	15,73	46	2,0533	2,161331
10,5	16,05	67	4,0078	4,128606
11,5	17,98	80	6,4283	6,624457
12,5	18,95	200	20,0040	20,62216
13,5	20,08	250	30,8936	31,86003
14,5	21,05	360	53,7807	55,48372
15,5	22,15	310	55,6639	57,44785
16,5	22,89	158	33,2112	34,28828
17,5	23,44	34	8,2300	8,499387
18,5	23,77	3	0,8225	0,849902
19,5	24,00	2	0,6150	0,635602
20,5	24,14	1	0,3417	0,353281
21,5	24,19		0,0000	0,0000
TOTAL		1539	216,9071	223,8996

TABELA 5.8 - VOLUME PROJETADO PARA O ANO SETE POR CLASSE DIAMÉTRICA, PELO MODELO VOLUMÉTRICO DE TAKATA, E PELO MODELO DE AFILAMENTO DO POLINÔMIO DO 5º GRAU, PARA O SÍTIO II.

DAP (cm)	H TOTAL (m)	FRE	MODELO VOLUMÉTRICO	MODELO DE AFILAMENTO
6,5	13,83	0	0,0000	0,0000
7,5	14,65	10	0,2887	0,296959
8,5	15,10	75	2,5573	2,632378
9,5	15,73	130	5,9316	6,108108
10,5	16,05	210	12,5618	12,94041
11,5	17,98	230	18,4813	19,04532
12,5	18,95	273	27,3055	28,14925
13,5	20,08	180	22,2434	22,93922
14,5	21,05	110	16,4330	16,95336
15,5	22,15	101	18,1357	18,71688
16,5	22,89	89	18,7076	19,31429
17,5	23,44	49	11,8608	12,24912
18,5	23,77	22	6,0316	6,232615
19,5	24,00	1	0,3075	0,317801
20,5	24,14	0	0,0000	0,0000
21,5	24,19	0	0,0000	0,0000
TOTAL		1480	160,8457	165,8957

TABELA 5.9 - VOLUME PROJETADO PARA O ANO 7 POR CLASSE DIAMÉTRICA, PELO MODELO VOLUMÉTRICO DE TAKATA, E PELO MODELO DE AFILAMENTO DO POLINÔMIO DO 5º GRAU, PARA O SÍTIO III.

DAP (cm)	H TOTAL (m)	FRE	MODELO VOLUMÉTRICO	MODELO DE AFILAMENTO
6,5	13,83	2	0,0396	0,04069
7,5	14,65	19	0,5485	0,56422
8,5	15,10	64	2,1822	2,24629
9,5	15,73	140	6,3879	6,57796
10,5	16,05	233	13,9376	14,3576
11,5	17,98	300	24,1060	24,8417
12,5	18,95	294	29,4059	30,3145
13,5	20,08	210	25,9506	26,7624
14,5	21,05	101	15,0885	15,5662
15,5	22,15	31	5,5664	5,74478
16,5	22,89	5	1,0510	1,08507
17,5	23,44	0	0,0000	0,00000
18,5	23,77	0	0,0000	0,00000
19,5	24,00	0	0,0000	0,00000
20,5	24,14	0	0,0000	0,00000
21,5	24,19	0	0,0000	0,00000
TOTAL		1399	124,2642	128,10171

Após analisar as Tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 é notório perceber que os volumes projetados para o ano sete, pelo Modelo Volumétrico de Takata, e pelo Modelo de Afilamento de 5º grau proposto por Schöpfer (1966), para os diferentes sítios são muito próximos, apesar do modelo de afilamento sempre ter apresentado maiores volumes nas diferentes classes diamétricas para os três sítios, aproximadamente 3%, a mais, não comprometendo a compatibilidade dos modelos.

5.3.5 Estimativas de rendimento de múltiplos produtos

Os critérios para a definição dos múltiplos produtos encontram-se na Tabela 5.1. Os resultados obtidos com a prognose por classe diamétrica e com as funções de afilamento ajustadas separadamente para cada sítio permitiram realizar a estimativa do volume total com casca possível de se obter nos diferentes sítios para cada produto especificado na idade sete anos, conforme pode-se observar na Figura 5.3.

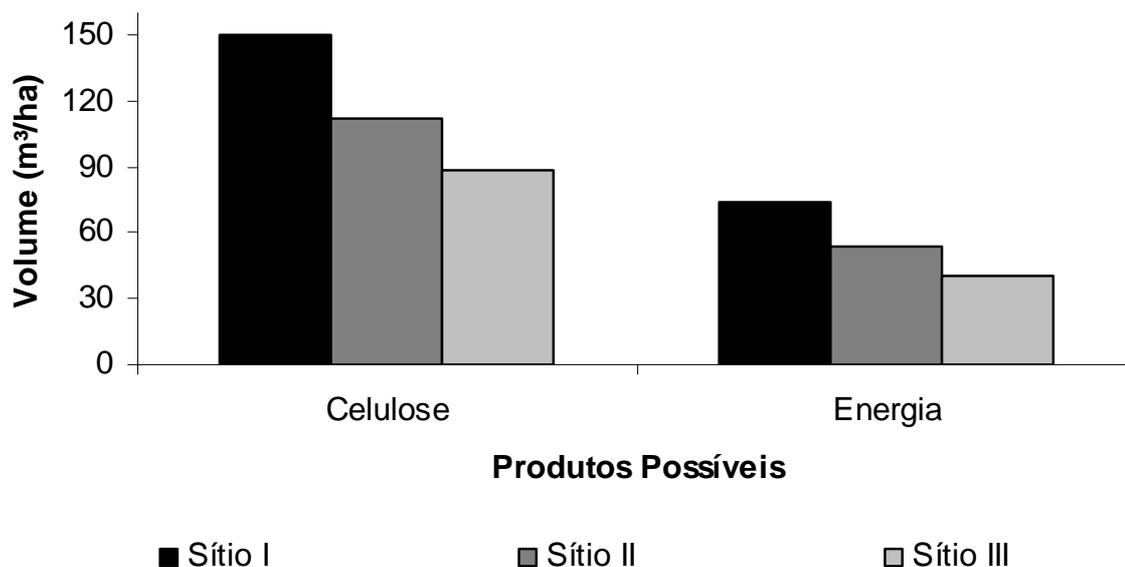


FIGURA 5.3 - RENDIMENTO VOLUMÉTRICO PARA OS POSSÍVEIS PRODUTOS COMERCIAIS EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* PARA UMA IDADE DE SETE ANOS NOS DIFERENTES SÍTIOS PRODUTIVOS.

O sítio I apresentou um rendimento total de $223,8996 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ de madeira com casca, na idade sete. Sendo que $150,1314 \text{ m}^3$ pode ser destinada à produção de celulose e $73,7682 \text{ m}^3$ para a produção de energia.

Produtos como serraria e pallets não foram possíveis de serem obtidos devido a inexistência de diâmetros mínimo da ponta fina. Estes são alcançados apenas em idades avançadas.

O sítio II apresentou um volume total de $165,8957 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ de madeira com casca, no qual $111,6337 \text{ m}^3$ podem ser destinados a celulose, e $54,2320 \text{ m}^3$, destinados a energia. E por último, o sítio III apresentou um volume total de $128,1017 \text{ m}^3/\text{ha}^{-1}$ de madeira com casca, onde $88,3717 \text{ m}^3$ podem ser utilizados para a produção de celulose e $32,7299 \text{ m}^3$ podem ser destinados a energia.

Nos diferentes sítios do povoamento estudado, os volumes prognosticados para o sétimo ano estão em consonância com outros inventários realizados pela própria empresa, em povoamento com esta idade. É claro e evidente que o povoamento sendo manejado de forma correta, e mesmo nas idades mais avançadas, produtos que exigem maiores diâmetros de ponta fina podem ser obtidos. Visando a obtenção de peças de madeira de maior dimensão, a adoção de desbaste torna-se uma prática muito necessária.

5.4 CONCLUSÕES

A função de densidade de probabilidade weibull ajustada pelos métodos dos percentis nos pontos de máxima divergência entre as curvas observada e teórica apresentou aderência satisfatórias, quando submetidas ao teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para $(\alpha = 0,05)$.

Os modelos ajustados que possibilitaram representar os atributos do povoamento estudado apresentaram estimativas precisas das variáveis avaliadas.

Nos três diferentes sítios não foram possíveis a obtenção de madeira para Serraria e Pallets, devido à exigência de um diâmetro maior de ponta fina, idade essa que não permitiu a obtenção de tais exigências, ou mesmo pelas características da produtividade da região.

As estimativas de crescimento e produção do povoamento de *Eucalyptus urophylla* localizado na Região Norte do estado de Goiás, são compatíveis com inventários realizados em regiões que apresentam características semelhantes ao local estudado, e mesmo valores compatíveis com inventários realizados pelo própria empresas em outras ocasiões.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R. **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2000

ARCE, J.E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência florestal**, Santa Maria. 2004. v. 14. n 1. p 149-164.

BAILEY, R. L.; DELL, T.R. Quantifying diameters distributions with the Weibull function. **Forest Science**, v. 19, n.2, p 27- 104, june 1973.

BARTOSZECK, A.C., P.S.. **Evolução da relação hipsométrica e da distribuição diamétrica em função dos fatores idade, sítio e densidade inicial em Bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.; G.; **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas/** João Carlos Chagas Campos e Helio Garcia Leite. 2.ed. ver. E ampl. – Viçosa: ed. UFV, 2006. 470p.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L.V. **Timber management: a quantitative approach**. USA: John Wiley & Sons. 1983. 329p.

EISFELD, R.L. **Modelagem do crescimento e da produção de *Pinus taeda* L. por meio de função probabilística e processo de difusão**. 67f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de povoamentos de teca (*Tectona grandis* L.f.) na microrregião do Baixo Rio Acre**. 301 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2005.

MAESTRI, R. **Modelo de Crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando Variáveis Ambientais**. 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

PÉLLICO NETTO, S. **Biometria, teoria de probabilidades**. Curitiba 1993. 278 pg. Editorada pelo o autor.

SCOLFORO, José Roberto Soares. **Biometria Florestal: Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 2006. .p. 393.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. LAVRAS: UFLA/FAEPE, 1998. v. 1. p. 443.