



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E  
AMBIENTAIS

FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS  
PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO MUNICÍPIO DE  
ROSÁRIO OESTE – MT.

CYRO MATHEUS COMETTI FAVALESSA

CUIABÁ

2011

CYRO MATHEUS COMETTI FAVALESSA

FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS  
PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO MUNICÍPIO DE  
ROSÁRIO OESTE – MT.

ORIENTADOR: Profº Dr. JAIME ANTONIO UBIALLI

Dissertação apresentada a Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências do curso de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais para obtenção do título de Mestre.

CUIABÁ

2011

## FICHA CATALOGRÁFICA

F272f Favalessa, Cyro Matheus Cometti.  
Funções de afilamento segmentadas e não segmentadas para povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no município de Rosário Oeste - MT / Cyro Matheus Cometti Favalessa. – 2011.  
ix, 108 f. : il. (algumas color.)

Orientador: Prof. Dr. Jaime Antonio Ubialli.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Teca – Classe diamétrica. 2. Teca – Fuste – Diâmetro. 3. *Tectona grandis*.  
4. Teca – Povoamento – Rosário Oeste (MT). 5. Teca - Silvicultura. I. Título.

CDU – 630\*5(817.2)

Ficha elaborada por: Rosângela Aparecida Vicente Söhn – CRB-1/931

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL  
Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais e Ambientais

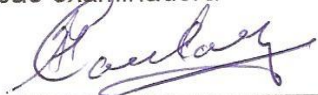
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO  
SEGMENTADAS PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO  
MUNICÍPIO DE ROSÁRIO OESTE – MT.

Autor: Cyro Matheus Cometti Favalessa

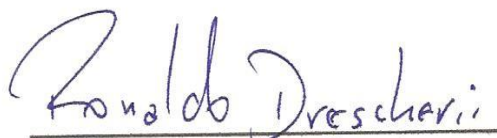
Orientador: Profº Dr. Jaime Antonio Ubialli

Comissão examinadora



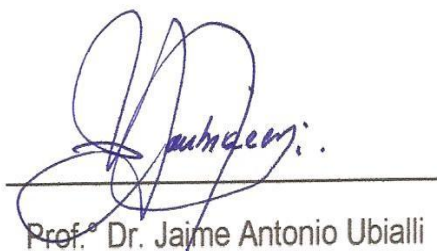
Profº Dr. Fidel Cândano Acosta

Universidade Federal de Mato  
Grosso



Profº Dr. Ronaldo Drescher

Universidade Federal de Mato  
Grosso



Prof.º Dr. Jaime Antonio Ubialli

Orientador – UFMT/FENF

Dedico à minha família

## **Agradecimentos**

Aos meus pais Olívio Favalessa e Maria de Fátima Campagnaro Favalessa pelo apoio incondicional. Agradeço também aos meus irmãos Lucas Cometti Favalessa e Olívia Cometti Favalessa pelas horas de conversa e ao apoio prestado sempre que necessitei.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Jaime Antonio Ubialli por acreditar e dar todo o apoio necessário a realização do trabalho, pela paciência que teve comigo, pelos ensinamentos e dicas de pesquisa, e pelas horas de leituras gastas no meu trabalho e pela grande amizade consolidada a cada dia.

Aos Professores da Universidade Federal do Paraná Dr. Julio Eduardo Arce e Dr. Afonso Figueiredo Filho por todo o apoio.

Aos Professores, Dr. Ronaldo Drescher e Dr. Sidney Fernando Caldeira, pela contribuição com trabalho no exame de qualificação.

Ao Professores Dr. Fidel Cándano Acosta e Dr. Ronaldo Drescher por aceitarem participar e contribuir com o trabalho na banca de defesa da dissertação.

Ao amigo Eng. Florestal Luciano Rodrigo Lanssanova por estar sempre disposto a contribuir com o trabalho.

Ao Eng. Florestal Renner Fernandes pela contribuição com o trabalho.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO .....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 A espécie .....	4
2.1.1 Histórico e perspectivas dos plantios da espécie <i>Tectona grandis</i> L.f. no Brasil.....	6
2.2 Forma do fuste das árvores .....	7
2.3 Funções de forma .....	9
2.3.1 Quociente de forma .....	9
2.3.2 Fator de forma.....	9
2.3.3 Funções de afilamento .....	12
2.3.3.1 Histórico das funções de afilamento .....	13
2.3.3.2 Funções de afilamento não segmentadas.....	13
2.3.3.3 Funções de afilamento segmentadas .....	16
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
CAPITULO 01.....	28
FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIAMETROS AO LONGO DO FUSTE PARA POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> L. f. NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO OESTE – MT. ....	28
RESUMO .....	28
CHAPTER 1.....	29
SEGMENTED AND NON SEGMENTED TAPER FUNCTIONS TO ESTIMATE THE DIAMETERS ALONG THE STEM FOR STANDS OF <i>Tectona grandis</i> L. f. IN ROSÁRIO OESTE - MT. ....	29
ABSTRACT.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
2.1 Área de estudo.....	31
2.2 Obtenção dos dados de campo.....	32

2.3 Modelos matemáticos empregados .....	34
2.4 Processamento dos dados.....	36
2.5 Avaliação estatística das equações .....	36
2.5.1 Seleção das equações .....	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
3.1 Ajuste dos modelos de afilamento para o conjunto total de dados e por classes de diâmetro .....	37
3.2 Acuracidade dos modelos para estimativa dos diâmetros nas alturas relativas do fuste .....	42
4. CONCLUSÕES.....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXO.....	55
CAPITULO 02.....	65
FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE PARA POVOAMENTOS DE <i>Tectona grandis</i> L. f. NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO OESTE – MT. ....	65
RESUMO .....	65
CHAPTER 02 .....	66
SEGMENTED AND NON SEGMENTED TAPER FUNCTIONS TO ESTIMATE OF VOLUMES OVER THE STEM ON STANDS OF <i>Tectona grandis</i> L. f. IN ROSÁRIO OESTE - MT. ....	66
ABSTRACT.....	66
1. INTRODUÇÃO.....	67
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	69
2.1 Área de estudo.....	69
2.2 Obtenção dos dados de campo.....	70
2.3 Equações de volume desenvolvidas para as funções de afilamento.....	72
2.3.1 Integração dos volumes aplicada ao modelo não segmentado do Quinto Grau 1966: .....	73
2.3.2 Integração dos volumes aplicada ao modelo não segmentado de Hradetzky 1976:.....	74
2.3.3 Integração dos volumes aplicada ao modelo segmentado de Max e Burkhardt 1976: .....	75
2.3.4 Integração dos volumes aplicada ao modelo segmentado de Clark et al.1991 .....	76
2.4 Processamento dos dados.....	77



2.5 Estatísticas de avaliação das equações .....	78
2.5.1 Seleção das equações .....	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	79
3.1 Ajuste dos modelos.....	79
3.2 Acuracidade dos modelos para estimativa dos volumes ao longo dos fustes para o conjunto total de dados. ....	84
3.3 Acuracidade dos modelos para estimativa dos volumes nas alturas relativas por classes diamétricas.....	87
4. CONCLUSÕES.....	99
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	103
ANEXO.....	104

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1

TABELA 1	DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L.f. CUBADAS NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO.....	33
TABELA 2	FÓRMULAS UTILIZADAS NO TESTE DE ACURACIDADE PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DE <i>Tectona grandis</i> L.f.....	37
TABELA 3	PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU 1966, HRADETZKY 1976, MAX E BURKHART1976 E CLARK ET AL. 1991 POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA CONJUNTO TOTAL DE DADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	39
TABELA 4	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DO CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA CADA MODELO.....	43
TABELA 5	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 1, PARA CADA MODELO.....	44
TABELA 6	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 2, PARA CADA MODELO.....	45

TABELA 7	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 3, PARA CADA MODELO.....	46
TABELA 8	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 4, PARA CADA MODELO.....	47
TABELA 9	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 5, PARA CADA MODELO.....	48
TABELA 10	CLASSIFICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS DIÂMETROS NAS POSIÇÕES RELATIVAS, AO LONGO DO FUSTE, POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS E AS PORCENTAGENS ALCANÇADAS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	49

## CAPITULO 2

TABELA 1	DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L.f. CUBADAS NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO.....	71
TABELA 2	FÓRMULAS UTILIZADAS NO TESTE DE ACURACIDADE PARA ESTIMATIVA VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DE <i>Tectona grandis</i> L.f.....	79
TABELA 3	PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU 1966, HRADETZKY 1976, MAX E BURKHART 1976 E CLARK ET AL. 1991, POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	81
TABELA 4	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFENRENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	86
TABELA 5	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFENRENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 1, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	88
TABELA 6	DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFENRENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 2, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	89

TABELA 7	DESvio (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESvio PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 3, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	90
TABELA 8	DESvio (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESvio PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 4, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	91
TABELA 9	DESvio (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESvio PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE <i>Tectona grandis</i> L. f. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 5, PARA OS MODELOS TESTADOS.....	92
Tabela 10	CLASSIFICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS VOLUMES NAS POSIÇÕES RELATIVAS, AO LONGO DO FUSTE POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS E AS PORCENTAGENS ALCANÇADAS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	93

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

FIGURA 1	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	31
FIGURA 2	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	41
FIGURA 3	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA CALSSE 1, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	55
FIGURA 4	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA CALSSE 2, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	56
FIGURA 5	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA CALSSE 3, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	57
FIGURA 6	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA CALSSE 4, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	58
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA CALSSE 1, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	59
FIGURA 8	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	50

FIGURA 9	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 1 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	60
FIGURA 10	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 2 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	61
FIGURA 11	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 3 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	62
FIGURA 12	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 4 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	63
FIGURA 13	PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 5 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	64

## CAPÍTULO 2

FIGURA 1	MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO.....	69
FIGURA 2	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	83
FIGURA 3	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA A CLASSE 1 EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	104
FIGURA 4	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA A CLASSE 2 EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	105
FIGURA 5	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA A CLASSE 3 EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	106

FIGURA 6	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA A CLASSE 4 EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	107
FIGURA 7	DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) PARA A CLASSE 5 EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	108
FIGURA 8	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	85
FIGURA 9	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 1 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	94
FIGURA 10	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 2 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	95
FIGURA 11	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 3 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	96
FIGURA 12	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 4 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	97
FIGURA 13	VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 5 PARA <i>Tectona grandis</i> L.f.....	98



## RESUMO

FAVALESSA, Cyro Matheus Cometti. **Funções de afilamento segmentadas e não segmentadas para povoamentos de *Tectona grandis* L. f. no município de Rosário Oeste – MT.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT. Orientador: Prof. Dr. Jaime Antonio Ubialli.

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* L.f. em uma propriedade no município de Rosário Oeste, estado de Mato Grosso. O objetivo do presente estudo foi comparar a acurácia das estimativas dos diâmetros ao longo do fuste dessa espécie propiciadas por ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados para o conjunto total dos dados e com controle das classes diamétricas e, ainda, comparar a acurácia das estimativas dos volumes parciais em diferentes alturas para o conjunto total dos dados e com ajuste por classe diamétrica. A base de dados foi composta por 114 árvores distribuídas em classes de diâmetro em função do desvio padrão. A cubagem foi realizada pela metodologia de Hohenadl modificada, e os volumes foram calculados pela fórmula de Huber. Os modelos não segmentados testados foram o do Quinto Grau e o de Hradetzky e os modelos segmentados foram o de Max e Burkhardt e de Clark e outros. O ajuste dos modelos foi avaliado em função do coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa ( $syx\%$ ) e pela distribuição dos resíduos em percentagem (%). A acuracidade dos modelos foi avaliada pelo desvio (D), desvio padrão das diferenças (SD), somatório de quadrado dos resíduos relativos (SQRR) e a porcentagem dos resíduos (RP), que permitem uma avaliação detalhada das estimativas dos diâmetros e volumes ao longo do fuste. A partir desses parâmetros estatísticos foi elaborado uma classificação para detectar o modelo que propiciou as melhores estimativas dos diâmetros e dos volumes ao longo do fuste. A Equação de Hradetzky foi a mais acurada para estimar os diâmetros ao longo do fuste, tanto para o ajuste do conjunto total dos dados quanto para as classes diamétricas, exceto para a classe 3 onde a equação mais acurada foi a de Clark e outros. Para estimativa dos volumes ao longo do fuste a equação do Quinto grau foi a mais acurada para o conjunto total dos dados e também para as classes 2 e 3 enquanto a equação de Max e Burkhardt foi mais acurada para Classe 1 e a equação de Hradetzky para as classe 4 e 5. A equação de Max e Burkhardt estima com acurácia os volumes da base dos fustes para todas as classes e o conjunto total dos dados.

**Palavras chave:** teca, forma do fuste, cubagem rigorosa, sortimento, classe diamétrica.

## ABSTRACT

FAVALESSA, Cyro Matheus Cometti. **Segmented and non segmented Taper functions in a stand of *Tectona grandis* L. f. in of Rosario Oeste - MT.** 2011. Dissertation (A Dissertation for degree of Master of Forestry and Environmental Sciences) - Federal University of Mato Grosso, Cuiabá - MT. Adviser Prof. Jaime Antonio Ubialli.

This study was conducted in a stand of *Tectona grandis* L.f. in a property in the city of Rosario Oeste, Mato Grosso. The purpose of this study was to compare the accuracy of estimates of the diameters along the stem of that species offered for non-segmented and segmented polynomial models adjusted for all of data and control of diameter classes, and also compare the accuracy of the estimates the partial volumes at different relative heights for the total data set and adjusted by diameter class. The database consisted of 114 trees distributed among diameter classes according to the standard deviation. The tree scaling was performed by the modified hohendl methodology and the volumes were calculated by the Huber's formula formula. The non-segmented models tested were Fifth Degree and Hradetzky 1976, and segmented models were Max and Burkhart and Clark et al. 1991. The adjustment of the models was evaluated according to the corrected coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of estimate (syx%) and the distribution of residuals (%). The accuracy of the models was evaluated by the Deviation (D), the Standard Deviations of Differences (SD), Sum of Squares of Relative Residues (SSRR) and Percentage of Residues (RP), which allow a detailed assessment of the estimates of the diameters and volumes along bole. From these statistics a further classification was developed to detect the model provided the best estimates of the diameters and volumes along the bole. The Hradetzky equation was more accurate to estimate diameters along the stem, both for adjusting the total data set as for the diameter classes except for class 3 where the Clark et al. equation was more accurate. To estimate the volumes along the bole the Fifth Degree equation was most accurate for the entire set of data and also for classes 2 and 3, while the equation of Max and Burkhart was more accurate for Class 1, and the Hradetzky equation for Class 4 and 5. The Max and Burkhart equation accurately estimated the volumes of the base of stems for all classes and the total set of data.

**Keywords:** teak, Bole Form, Rigorous tree scaling, assortment, diameter class.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A tendência atual para o atendimento do mercado madeireiro é que partes das plantações florestais sejam utilizadas segundo o conceito de floresta para usos múltiplos, em que de um mesmo fuste de uma árvore consegue-se extrair madeira para laminação, serraria, fabricação de papel e celulose e, ainda, aproveitar os resíduos da madeira para fabricação de chapas de fibras e geração de energia, entre outros produtos, sendo essa multiplicidade de uso, provavelmente, a opção que apresente maior possibilidade de remuneração do produto advindo de povoamentos florestais (SOARES et al. 2003).

A necessidade de otimizar o uso dos recursos florestais, dentro do conceito de múltiplos produtos da madeira, tem justificado e estimulado a realização de estudos sobre o assunto. Quando bem manejadas as florestas de produção garantem a maximização dos multiprodutos advindos da madeira.

Para obtenção de múltiplos produtos advindos da madeira é necessário conhecimento do ritmo de crescimento e da forma de seus indivíduos, bem como dos fatores que afetam essas duas variáveis. Devido a este motivo modelos matemáticos capazes de representar com acuracidade os perfis do fuste vêm se tornando uma ferramenta de grande importância aos empreendimentos florestais. Quanto mais se qualifica os produtos advindos da madeira, mais se torna necessária a utilização das equações de afilamento com as quais se podem estimar o número de toras de qualquer diâmetro mínimo comercial, com comprimentos previamente especificados, assim como seus volumes e alturas (SOUZA, 2007).

No Brasil, estudos de perfil do tronco de árvores, tradicionalmente, baseiam-se em equações que permitem estimar o diâmetro em qualquer altura ao longo do tronco como em Figueiredo Filho et al. (1996), Rios (1997) Scolforo et al. (1998), Figueiredo Filho e Schaaf (1999), Assis (2000), Assis et al. (2001), Chichorro et al. (2003), Souza (2005), Figueiredo et al. (2006), Queiroz (2006), Souza et al. (2007, 2008abc e 2009) e Mendonça et al. (2007). Os diversos

modelos matemáticos destinados a esse fim mostram uma grande variação quanto ao grau de complexidade de seus ajustes e da aplicação da equação e, ainda, quanto à qualidade das equações geradas (ASSIS et al., 2001).

Equações de afilamento utilizadas em inventário e planejamento florestal resulta em informações sobre o número de toras vinculadas às dimensões mínimas de cada produto a ser obtido do povoamento, permitindo o planejamento de produção e logística de transporte e comercialização de madeira (SOARES, 2002).

Os modelos não segmentados utilizados neste trabalho tem sido largamente utilizados pela facilidade de ajuste e pela eficiência na obtenção dos diâmetros às várias alturas, bem como dos respectivos volumes (SCHNEIDER et al., 1996; FISCHER et al., 1998; DRESCHER et al., 1999; MÜLLER et al., 2005; MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2008abc; ABREU et al., 2002; EISFELD et al., 2004; CONCEIÇÃO, 2004; MACHADO et al., 2004; ASSIS et al., 2002; QUEIROZ, 2006).

Além dos modelos não segmentados, foram empregados os modelos segmentados de Max e Burkhart 1976 e Clark et al. 1991 os quais por desmembrarem os fustes em pelo menos três sessões, facultadas por restrições inerentes aos modelos, tem permitido alcançar em muitos casos, grande fidelidade ao expressar os volumes reais de algumas espécies com evidências de grandes mudanças promovidas, principalmente nos pontos de inflexão ou de mudanças em seus fustes (FIGUEIREDO FILHO E SCHAAF, 1999; SOUZA et al, 2008abc; ASSIS et al., 2001; JIANG et al., 2005).

O presente trabalho teve como objetivo geral selecionar a equação de melhor desempenho para as estimativas dos diâmetros e volumes ao longo do fuste da espécie *Tectona grandis* L. f, propiciada por ajustes de funções de afilamento segmentadas e não segmentadas. Os objetivos específicos foram o de comparar a acurácia das estimativas dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f. propiciadas por ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados para o universo dos dados e com controle

por classe de diâmetro diamétrica; e comparar a acurácia das estimativas dos volumes parciais em diferentes alturas para o conjunto total dos dados e com ajuste por classe diamétrica.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A espécie

A *Tectona grandis* L. f. (teca) é uma espécie arbórea decídua de floresta tropical, da família Lamiaceae, considerada anteriormente à família Verbenaceae (APGII, 2003).

A ocorrência natural desta espécie é entre as latitude 10° a 23° Norte, aproximadamente, no sudeste da Ásia, em uma área que compreende a maior parte da Índia peninsular, grande parte de Myanmar (conhecida anteriormente como Birmânia ou Burma) e partes de Laos e Tailândia (STREETS, 1962; KDAMBI, 1972; RYAN 1982; GAJASENI e JORDAN, 1990; TROUP 2006), com plantações estabelecidas e bem sucedidas no sudeste da Ásia, Austrália, África (BEARD, 1943; WHITE, 1991).

As folhas de *Tectona grandis* L. f. são elípticas ou obovadas, coriáceas, opostas e verticeladas em plantas jovens, de cor verde escura na superfície adaxial, e verde clara na superfície abaxial tomentosa, e áspera ao tato. Geralmente, medem entre 20 e 35 cm de largura e 25 e 50 cm de comprimento. A fase de brotação das folhas inicia-se no início da estação chuvosa. Apresenta inflorescência em panículas terminais, eretas e ramificadas, de 40 cm a 50 cm de largura e comprimento. Flores de coloração esbranquiçada, pequenas e numerosas. Cálice cor de creme, finamente pubescente; corola esbranquiçada em forma de funil, com tubo curto e seis lóbulos estendidos; seis estames inseridos no tubo da corola; ovário tetralocular e flores monóicas. A época de sua floração é normalmente de Junho a Agosto, porém, em certas ocasiões e lugares, se inicia desde maio e pode chegar até setembro (WEAVER 1993). Já no estado de São Paulo, Cardoso (1991) comenta que sua floração pode ocorrer inicialmente em Janeiro ou Fevereiro, e vai até o final de Março.

Os frutos são drupas pequenas, de coloração castanho clara e forma esférica; tetraloculares, envoltos em cálice membranoso e persistente, medindo de 1 a 3cm de diâmetro. A época de maturação dos frutos na Birmânia e na Índia se estende de novembro até janeiro caindo no final de abril. As sementes são pequenas e oleaginosas, de 5 a 6 mm de largura. Os frutos contêm até

quatro sementes; porém, na prática, cada fruto é considerado como uma semente. Cerca de 1100 a 1500 frutos secos pesam 1 kg. Existem diferenças quanto ao tamanho e pesos das sementes de diferentes procedências (BARROSO, 1983).

Lamprech (1990) e Lorenzi et al. (2003), afirmaram que a *Tectona grandis* L.f. atinge alturas entre 25 e 35 m, podendo encontrar-se indivíduos com mais de 45 m e DAP acima de 100 cm. O tronco é reto, cilíndrico, de casca parda e longitudinalmente fissurada. O sistema radicular é superficial, podendo ou não haver raízes tabulares. O alburno é estreito e claro, bem distinto do cerne, de coloração marrom viva e brilhante.

A madeira dessa espécie, segundo Higuchi (1979), possui alburno amarelado a marrom, que uma vez exposta ao ar livre adquire um tom mais escuro. Os anéis de crescimento são nítidos e diferenciados em cortes transversais, textura grosseira, grã reta e de aparência oleosa ao tato.

A qualidade da madeira de *Tectona grandis* L.f. é de elevado valor comercial e procura no mercado internacional, representando uma combinação de beleza, estabilidade, durabilidade e resistência. É muito utilizada na construção naval, construção de móveis, estruturas, pisos, chapas, painéis, postes e dormentes mas, especialmente, na produção de peças e de usos nobres e móveis finos devido a sua resistência à ação do sol, calor, frio, água de chuva e do mar, além de ser facilmente trabalhada (RONDON NETO et al 1998; GOMES 2002; CRUZ, 2005).

Ademais, estudos químicos com a *Tectona grandis* L.f. tem registrado a presença de uma substância pertencente à classe das antraquinonas, a “tectoquinona”, à qual é atribuída propriedades antifúngica, bactericida e repelente aos ataques de alguns insetos, à qual tem sido atribuída a durabilidade da madeira quando exposta aos rigores das intempéries (RUDMAN, 1958; BHAT, 2007). Além da tectoquinona, outras substâncias foram encontradas, como o lapachol e uma naftoquinona-antraquinona, a tectograndona, que é um corante natural (AGNALDO ET AL., 1993).

Assim sendo, além de usos madeireiros, alguns estudos tem sido realizados para utilização de produtos não madeireiros como em Santos et al

(2009) que utilizaram extratos de folhas de teca para obtenção de inseticida com a finalidade de controlar cupins da espécie *Coptotermes gestroi* (Isoptera: Rhinotermitidae) obtendo 95% de mortalidade, e em Ponnusami et al (2009) que utilizaram folhas de teça em pó como adsorventes de resíduos de tintura para tratamento de efluentes industriais.

A teca é uma cultura perene com ciclo que varia de 25 a 80 anos (FIGUEIREDO, 2001; UGALDE e PÉREZ, 2001). No Brasil, o ciclo de 25 anos nas plantações de teca se deve principalmente ao elevado incremento médio anual (IMA), que tem variado de 15 a 25 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (FIGUEIREDO, 2001), sendo bem maior que de outros países, como por exemplo, Índia e Java, com IMA de aproximadamente 8 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e ciclo de 60 a 80 anos (UGALDE e PÉREZ, 2001).

#### 2.1.1 Histórico e perspectivas dos plantios da espécie *Tectona grandis* L.f. no Brasil

Um plantio experimental realizado na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) em Piracicaba, no estado de São Paulo, revelou que o desenvolvimento de teca foi superior ao das espécies nativas produtoras de madeira de alto valor comercial. (MELLO, 1963).

A espécie também foi cultivada na Usina Tamoi, Araraquara, SP; na Aracruz Florestal S/A, ES; Jari Florestal em Monte Dourado, PA; na CEPLAC, Porto Seguro, BA; no sítio Castiçal do Jaurú, fazenda Teca do Jaurú, fazenda Paraguatuba e na chácara Junco, região de Cáceres, MT (MATRICARDI, 1989).

Duas estimativas apresentam a área global entre 2 e 2,2 milhões de hectares (Dupuy e Verhaegem, 1993) e 3 milhões de hectares de reflorestamentos de teca no mundo todo (BALL et al., 1999; PANDEY E BROWN, 2000). Desta área, 2,7 mil hectares representam a área de Teca plantada na porção tropical da América do Sul (0,6% da areal total de silvicultura nessa região) (BALL et al., 1999).

A área plantada de *Tectona grandis* L. f. no território brasileiro somou 65.440 hectares até 2010, (ABRAF, 2011). Além do Mato Grosso há plantios de



teca no Paraná, São Paulo, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Pará, Acre, Amazonas, Rondônia e Amapá (SHIMIZU et al., 2007).

O preço da madeira em tora e serrada subiu, atingindo valores sem precedentes em 2007. O principal fator associado a esta alta de preços foi a redução da oferta de madeira do sudeste asiático, agravada por aumento das medidas restritivas contra a atividade madeireira ilegal e restrições de importação e reduções de cotas, particularmente, na Indonésia. Os preços atingiram em resposta à piora das condições de demanda. Estas acabaram por se mostrar um determinante mais importante do que as limitações de fornecimento (INTERNATIONAL TROPICAL ORGANIZATION, 2009).

## 2.2 Forma do fuste das árvores

Os estudos sobre o comportamento das formas dos fustes de árvores se tornam a cada dia mais úteis e de extrema importância, pois as diferentes formas, além de afetarem o volume total, influenciam na qualidade e quantidade dos multiprodutos extraídos das árvores (FERREIRA, 1999).

O fuste das árvores pode apresentar forma bastante variável, modificando-se de acordo com a espécie e até mesmo dentro da mesma espécie. A forma varia de indivíduo para indivíduo, conforme as condições edafo-climáticas, os tratamentos silviculturais e a posição sociológica em que cada árvore se desenvolve. A forma também varia ao longo da idade, quer como um fenômeno evolutivo natural, ou como resultado das várias fases de concorrência relativas às árvores vizinhas (GOMES, 1957; LARSON, 1963; FINGER et al., 1995).

Do ponto de vista dendrométrico, a forma do fuste de árvores, genericamente, é sua configuração externa que a rigor não se identifica com a forma de um sólido geométrico específico, mas sim com vários, segundo a porção do tronco considerada. De uma maneira mais restrita, a forma do fuste pode ser associada ao termo afilamento que representa a diminuição do diâmetro com o aumento da altura, tendência natural que ocorre na maioria das

espécies e como tal pode ser expressa por uma função matemática que descreve a tendência dessa variação. À medida que a forma do fuste afasta-se de uma característica regular, mais difícil resulta a aplicação dos conhecimentos matemáticos para determinar com rigor os volumes (BORGES, 1981; MACHADO E FIGUEIREDO FILHO, 2003; PEREIRA ET AL., 2005).

Segundo Assmann (1970), Hush et al (1972), Loetch et al (1973), os fustes, tanto de coníferas como de folhosas, apresentam formas diferentes ao longo de seus fustes em que a base do tronco é convexa ao eixo longitudinal, com um ponto de inflexão variável em função da espécie, o qual se assemelha a um sólido geométrico do tipo neilóide; e partir desse ponto de inflexão até a base da copa compreendendo a seção mediana do fuste, o traçado apresenta-se côncavo ao referido eixo. Em coníferas essa porção do tronco poderia ser descrita por um parabolóide, enquanto que nas folhosas, uma parte dessa seção seria parabolóide e a parte terminal até a base da copa seria descrita por um tronco de cone; e na porção superior das coníferas que vai da base da copa até o ápice, apresenta seção levemente côncava ao eixo da árvore, podendo ser representado por um parabolóide quadrático ou cone.

Os modelos dendrométricos visam analisar a cubagem das árvores através de recursos matemáticos, comparando os sólidos geométricos de revolução às formas naturais das árvores, com o objetivo de determinar seu volume. Esses sólidos são chamados de “protótipos dendrométricos” ou “sólidos padrões”, os quais são comparáveis à forma do tronco ou a partes deste. O estudo matemático dos volumes das árvores considera suas seções circulares, embora se saiba que elas não são perfeitamente circulares (FINGER, 1992).

Os pontos de transição ou limites desses sólidos são de difícil determinação nos troncos, sendo, pois de pouca importância prática. No entanto desempenham um grande valor teórico na definição de expressões matemáticas que descrevem a forma do fuste (FIGUEIREDO FILHO, 1991).

A forma do fuste das árvores é influenciada por vários fatores como: sítio (LARSON, 1963; FIGUEIREDO FILHO, 1991), Idade (AHRENS e HOLBERT,

1981; MACHADO, 1982; FRIELD, 1989; FIGUEIREDO FILHO, 1991), espaçamento (LARSON, 1963; SILVA, 1974; FRIEDL, 1989), desbaste (LARSON, 1963; SMITH et al, 1997; SCOLFORO E FIGUEREDO FILHO, 1998), poda e a posição sociológica (LARSON, 1963; SCOLFORO e FIGUEREDO FILHO, 1998).

### 2.3 Funções de forma

Segundo Scolforo et al. (1998) e Queiroz (2006) dentre as alternativas para quantificar e expressar a forma do fuste de árvores, podem ser considerados: o quociente de forma, o fator de forma, os modelos de afilamento ou *taper* e as funções spline.

#### 2.3.1 Quociente de forma

O quociente de forma é definido como a razão entre dois diâmetros, enquanto fator de forma é a razão entre dois volumes. A aplicação do quociente de forma é a mesma dada ao fator de forma, ou seja, serve de fator de redução para o volume do cilindro. Entretanto, a estimativa do volume assim calculado não tem a mesma precisão que a obtida com fator de forma. Outra aplicação está no estudo da forma de árvores e em modelos estatísticos como variável independente (FINGER, 1992).

Segundo Schneider et al. (1996), foi Schuberg que, em 1881, introduziu o conceito de quociente de forma como a relação entre dois diâmetros tomados, respectivamente, à metade da altura da árvore e a 1,30 m do solo, desenvolvendo-se a partir daí uma série de pesquisas sobre forma de fuste para definição de sortimentos de madeira.

#### 2.3.2 Fator de forma

A utilização do fator de forma é um dos métodos amplamente empregados para estimar o volume de árvores individuais, sendo o método mais simples e de fácil aplicação (CONCEIÇÃO, 2004).

Conceitua-se fator de forma, segundo Silva (1979), como 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 é influenciado principalmente pela espécie, sítio, espaçamento, desbaste, idade, herdabilidade. Além disso, ele varia de acordo com o ponto onde é calculada a área seccional (g). Para estar de acordo com os sólidos geométricos, o diâmetro deveria ser tomado na base da árvore. No entanto, pela praticidade e pela irregularidade da seção causada pelo sistema radicular, é sempre qualificada ao nível do DAP (FERREIRA, 1999).

O fator de forma, conforme Prodan et al. (1997), pode ser real ou verdadeiro, e falso ou artificial, dependendo da altura em que for medido o diâmetro do cilindro de referência. 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.

Após o diâmetro e a altura, o fator de forma constitui a terceira variável, em ordem de importância, na estimação de volumes. O crescimento em altura é o elemento que mais influencia o fator de forma. Desse modo, sabe-se que duas árvores geometricamente idênticas, porém com alturas diferentes, têm diferentes fatores de forma artificial. Isso ocorre porque, sendo o fator de forma o resultado de uma divisão do volume cúbico pelo volume do cilindro, a variável altura, embora aplicada no cálculo dos dois volumes, não acarreta uma variação proporcional no volume da árvore quando se toma para comparação o cilindro ideal (FINGER, 1992).

#### 2.3.2.1 Fator de forma artificial

Este fator de forma é também denominado de falso ou artificial, porque possui a propriedade em que dois fustes com mesma forma geométrica, mas com diferentes alturas, não têm o mesmo fator de forma artificial. Este efeito é causado pela influência das suas bases, que em árvores velhas e grandes excede a região do diâmetro à altura do peito, o que ocorre principalmente com espécies tropicais (FERREIRA, 1999).

Genericamente, este fator pode ser obtido pela razão entre o volume rigoroso da árvore (total ou parcial), tomado em relação ao volume de um cilindro, cuja altura e diâmetro (medido a 1,30 m da base da árvore) sejam iguais aos da árvore considerada.

$$f_{1,3h} = \frac{\text{Volume Rigoroso}}{\text{Volume do cilindro com diâmetro a 1,3m do solo}}$$

Onde: volume rigoroso = volume do fuste cubado.

Estudando a variação da forma do fuste de clones de eucaliptos, Campos et al. (1993) concluíram, a respeito do fator de forma absoluto com casca e sem casca, que esta pode ser uma boa alternativa para calcular o volume de parcelas experimentais em substituição ao “volume cilíndrico” ou tabelas de volume, desde que sejam identificados corretamente o clone, as classes de diâmetro das árvores e o fator de forma correspondente.

#### 2.3.2.2 Fator de forma natural

De acordo com Campos et al. (1993), o fator de forma absoluto ( $f_{1,3h}$ ) foi superado com o fator de forma de Hohenadl ( $f_{0,1}$ ), que, todavia, requer medições de diâmetros ao longo do fuste em alturas relativas, o que dificulta o seu emprego. Este fator de forma foi conceituado e introduzido por Hohenadl em 1924.

O fator de forma natural é definido como a razão entre o volume rigoroso da árvore e o volume de um cilindro com diâmetro e altura igual ao da árvore, sendo o diâmetro tomado a 1/10 da altura total, isto é  $d_{0,1h}$ .

$$f_{0,1h} = \frac{\text{Volume Rigoroso}}{\text{Volume do cilindro com diâmetro a 10\% da altura total}}$$

Onde:  $d_{0,1h}$  = diâmetro de Hohenadl tendo como referência a base da árvore.

Duas árvores com idêntica forma geométrica e diferentes alturas possuem diferentes fatores de forma artificial, porém o mesmo fator de forma natural.

### 2.3.3 Funções de afilamento

Nos levantamentos florestais, métodos empíricos têm sido utilizados para representar a forma, tais como fatores de forma, quocientes de forma, funções de afilamento, funções spline e até mesmo análise de componentes principais

Segundo Prodan et al (1997), modelos de afilamento constituem uma importante ferramenta estatística de uso corrente na determinação dos perfis de troncos, pois permitem ao usuário estimar três características básicas das árvores: diâmetro em qualquer ponto do fuste; altura total ou a que se encontra em um determinado diâmetro limite especificado no fuste e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

Ahrens e Holbert (1981) afirmaram que 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 tronco, seu volume pode ser obtido por integração daquela função. Assim em termos geométricos, o tronco é tratado como um sólido de revolução. Uma vez definido um modelo matemático para o afilamento, pode-se determinar o volume de madeira entre quaisquer pontos ao longo do tronco. Desta maneira a natureza do algoritmo viabiliza a obtenção das estimativas de volume necessárias à multiplicidade de usos da madeira.

Segundo Schneider et al. (2009) estes modelos podem ser lineares ou não lineares, quando lineares, os parâmetros encontram-se na forma aditiva, elevados a um expoente unitário. Já nos modelos não lineares, os parâmetros apresentam-se na forma multiplicativa, e seus parâmetros podem estar elevados a valores diferentes do valor um.

Além disso, os modelos podem ser segmentados e não segmentados. Os modelos não segmentados constituem-se de um único modelo explicando toda extensão dos fustes. Os modelos segmentados constituem-se no do uso de sub modelos justapostos, cada um representando uma porção do fuste. A união dos sub modelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo

geral ajustados para seções inferiores, médias e superiores do fuste (SOUZA, 2007).

#### 2.3.3.1 Histórico das funções de afilamento

De acordo com Prodan (1965), a primeira tentativa para expressar o afilamento do fuste de árvores foi feita por Hojer, em 1903.

Queiroz (2006) comenta que Johnson (1911)<sup>1</sup> estudou a possibilidade do perfil do fuste de árvores ser representado por expressões matemáticas. Com o objetivo de evitar a diminuição muito acentuada dos diâmetros no topo das árvores, acrescentou uma constante biológica ao modelo de Hojer.

A partir de então uma série de autores como Wright em 1923, Heijbel em 1928, Behre em 1923 e 1927 e Matte em 1949, dentre outros, estudaram de maneira pormenorizada a possibilidade da forma da árvore ser representada por expressões matemáticas (CONCEIÇÃO 2004).

A partir da década de 60, houve um substancial desenvolvimento no estudo da forma da árvore. Foram desenvolvidos modelos como o de Prodan (1965), o modelo do quinto grau proposto por Schöepfer (1966), o modelo de Kozak et al. (1969), o modelo de Hradetzky (1976) e o modelo de Clutter (1980).

Além destes, outros modelos importantes que determinam pontos de mudança da forma nos fustes ou que são derivados de modelos de classe de forma foram definidos por Demaerschalk (1972), Max e Burkhart (1976), Parresol (1987), Clark et al. (1991), Fang et al (2000), Souter e Clark (2001) Lee et al. (2003).

#### 2.3.3.2 Funções de afilamento não segmentadas

Segundo Demaerschalk e Kozak (1977), dentre as diversas técnicas estatísticas de modelagem, destacam-se os modelos não segmentados, que

---

<sup>1</sup> JOHNSON, T. "Taxatariska undersökningar om skogsträdens form". *Skgswards förenings tidskrifft*. Häfte, Berlim, v.9, n.10, p.285-329, 1911.

conseguem aliar eficiência a uma simplicidade de aplicação, quando comparados aos modelos segmentados.

De acordo com Hradetzky (1976), uma boa representação do tronco através de polinômios exige uma combinação apropriada de potências e que as mesmas sejam submetidas ao processo de seleção “passo a passo” (step wise), sendo que essas potências variam de 0,005 a 25.

Dentre os modelos não-segmentados, a teoria de Hradetzky (1976), que propõe polinômios com potências de grau elevado para representar melhor a base da árvore, potências inteiras para representar a porção intermediária da árvore e potências fracionárias para representar o topo da árvore, tem apresentado resultados consistentes, como verificaram Scolforo et al. (1998), Assis (1998, 2000) e Ferreira (1999). Também tem apresentado excelentes resultados os estudos desenvolvidos por Goulding e Murray (1976), que propuseram uma alteração do polinômio do quinto grau, além de vincular as estimativas dos volumes parciais ao volume total da árvore, expresso por uma equação de volume.

Eisfeld et al., (2004) comentam que importantes estudos envolvendo modelos polinomiais não-segmentados têm sido desenvolvidos no Brasil, no entanto, dentre os estudos existentes poucos abordam as estimativas volumétricas, quando, na verdade, um modelo que estime diâmetros satisfatoriamente não fornece, necessariamente, boas estimativas de volume.

Esses modelos, que são frequentemente utilizados no meio florestal, caracterizam-se por um ajuste de regressão que relaciona vários diâmetros tomados ao longo do tronco e as respectivas alturas, com DAP e a altura total das árvores (SOUZA, 2007).

O modelo do quinto grau comparado a outros modelos não segmentados foi considerado acurado para estimativa dos diâmetros e volume dos sortimentos para *Eucalyptus grandis* conforme os trabalhos de Schneider et al. (1996), Müller (2005) e Mendonça (2007).

Fischer et al. (1998) estudou a eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil dos



fustes de *Pinus taeda* e recomendaram a utilização do modelo polinomial de Hradetzky, com ajuste por sítio e por classe de diâmetro para descrever o perfil do tronco.

Drescher et al. (1999) avaliaram 18 modelos não segmentados para *Pinus elliottii* no estado do Rio Grande do Sul e concluíram que a função polinomial de 5º grau demonstrou ser muito eficiente na estimativa dos diâmetros relativos ao longo do tronco e a sua integração possibilita o cálculo preciso do volume individual da árvore.

Assis et al. (2002) e Machado et al. (2004) avaliaram a acuracidade de modelos afilamento para *Pinus spp*, concluíram que o modelo de Hradetzky é o que proporciona as melhores equações para estimar os diâmetros ao longo dos fustes, e Eisfeld et al. (2004) informaram que o modelo citado é o melhor para estimar não só os diâmetros, mas também os volumes ao longo do fuste, para as espécies em questão, assim como Conceição (2004) e Abreu et al. (2002) trabalhando com *Eucalyptus grandis* spp.

Trabalhando com espécies nativas Chichorro et al. (2003) e Leite et al. (2006) afirmaram que os modelos de afilamento não segmentados testados estimam com precisão os diâmetros comerciais para as espécies em questão, e Queiroz (2006) afirma que tanto para os diâmetros quanto para os volumes comerciais a equação de Hradetzky é a melhor para quantificar os multiprodutos de *Mimosa scabrella* Benth.

Figueiredo et al. (2006) realizaram um trabalho com *Tectona grandis* L.F. com idades variando de dois a nove anos no estado do Acre em 4 diferentes áreas comparando os modelos não segmentados de Hradetzky (1976), de Schöpfer (1966) e o modelo de Goulding e Murray (1976) para o conjunto total dos dados e para cada área e concluíram que a equação de Goulding e Murray (1976) foi precisa nas estimativas dos volumes e diâmetros; e a equação de Hradetzky (1976) retratou com acurácia a parte superior e da base das árvores, mas foi regular na parte intermediária. O modelo de Schöpfer (1966) não apresentou boas estimativas.

Souza et al (2008a), trabalhando com *Pinus taeda* L. stem, e Souza et al (2008b), trabalhando *Eucalyptus* sp, avaliaram modelos polinomiais não segmentados para estimativa das alturas e volumes comerciais, e concluíram que o modelo polinomial do Quinto Grau pode ser utilizado para tal finalidade.

Nogueira et al (2008), avaliando a influência do espaçamento da forma do fuste de *Pinus taeda*, ajustou os modelos polinomiais não segmentados de Garay (1979), Demaerschalk (1972) e Binging (1984), e afirmou que a equação propiciada pelo Modelo de Garay (1979) foi a que melhor estimou os diâmetros ao longo do fuste.

Souza (2009) trabalhando com *Pinus taeda*, testou modelos de afilamento não segmentados, o modelo segmentado de Max e Burkhart (1976) e variações deste último e concluiu que a equação do Quinto Grau foi a que melhor estimou o perfil médio dos fustes.

#### 2.3.3.3 Funções de afilamento segmentadas

Segundo Demaerschalk e Kozak (1977), é necessário o uso de diferentes modelos para estudo do afilamento, um para parte inferior e o outro para a superior das árvores, a fim de obter maior precisão nas estimativas. No entanto, estes autores afirmaram que o número de equações a serem usadas depende muito da forma do perfil das árvores.

Cao et al. (1980)<sup>2</sup>, citados por Ounekham (2009), comentaram que o primeiro modelo segmentado desenvolvido foi o de Max e Burkhart 1976. Esse tipo de modelo pode descrever melhor o perfil do fuste que os modelos de afilamento mais simples, especialmente nos segmentos onde se encontram os maiores volumes.

Kirchner et al. (1989) comentaram que a técnica de regressão segmentada surgiu da dificuldade de se encontrar uma única função matemática capaz de descrever todo o perfil do tronco, uma vez que cada parte do tronco assemelha-se a uma diferente forma geométrica. Assim, utilizando—

---

<sup>2</sup> Cao, Q.V. and H.E. Burkhart and T.A. Max.. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. **Forest Science** 26(1): 71-80. 1980.

se a técnica de regressão segmentada, a curva de cada segmento é gerada pelo método dos mínimos quadrados e os pontos de união de cada segmento são necessariamente harmonizados.

De acordo com Rios (1997), caracterizar o perfil por vários polinômios poderá ser uma medida de risco, pois para cada ponto de ligação deverá haver uma equação com alto grau de precisão, sendo recomendado um estudo prévio da relação entre os diâmetros, nas diferentes posições relativas ao longo do fuste, e a variável DAP para as árvores em estudo. Dessa forma, estimativas menos acuradas naturalmente implicariam em curvas distorcidas, ocasionando erros até maiores que os intrínsecos da metodologia.

Os modelos segmentados, desenvolvidos como alternativas para modelar o perfil dos fustes, representam cada porção do tronco por uma função polinomial, em vez de representá-la por um único modelo, como é o caso dos modelos não-segmentados. Dentre diversos modelos, os de Clark et al. (1991) e de Max e Burkhart (1976) são considerados como os mais eficientes ((FIGUEIREDO FILHO ET AL., 1996; FERREIRA, 1999; FIGUEIREDO FILHO E SCHAAF, 1999 e ASSIS, 2000).

Figueiredo Filho e Schaaf (1999) testaram modelos polinomiais segmentados e não segmentados para *Pinnus elliottii*, e concluíram que os modelos de Kozak et al. (1969), quinto grau e Parresol et al. (1987) apresentaram erros elevados abaixo de 30% da altura total, o que representa em média 52% do volume total das árvores; já o modelo de Clark et al. (1991) foi o que melhor estimou os diâmetros e os volumes comerciais ao longo do fuste mas possui o inconveniente de utilizar o diâmetro a 5,3 metros do solo, medida essa de difícil obtenção no campo. Em função dessa dificuldade foi recomendado o uso do modelo de Max e Burkhart (1976) devido a grande regularidade nas estimativas dos diâmetros e dos volumes ao longo do fuste, com a vantagem ainda de que este modelo foi o que apresentou os menores erros, todos abaixo de 9,7%, nas alturas inferiores a 30% da altura total.

Assis et al. (2001), trabalhando com *Pinus taeda*, comparando modelos segmentados e não segmentados concluiu que as estimativas de diâmetros e volumes ao longo do fuste dos modelos de Clark et al. (1991), Max e Burkhart

(1976), Hradetzky (1976) e Goulding e Murray (1976) diferem significativamente entre si. E sugerem o ajuste deve ser feito por classe de diâmetro e concluíram que o modelo de Max e Burkhardt 1976 não deve ser utilizado para estimativas de diâmetros abaixo de 10% da altura total, para árvores menores que 45cm de diâmetro e abaixo de 25% da altura para árvores com diâmetro maior que 45cm; já o modelo de Goulding e Murray 1976 não deve ser utilizado para estimativa dos diâmetros das árvores em posições superiores a 85% da altura total. O modelo de Clark et al. (1991) é o mais flexível dos modelos, mas não foi bom na classe de diâmetro 32,5cm e as árvores com diâmetro superior a 45cm. Devido a simplicidade de ajuste e manuseio o modelo que ofereceu os melhores resultados em geral foi o de Hradetzky (1976), para todas as classes de diâmetro.

Jiang et al. (2005) trabalhando com *Magnoliaceae liriodendron tulipifera* L. (Yellow-poplar), testaram os modelos de Max e Burkhardt (1976), o de Clark et al. (1991), assim como outras duas variações deste último e concluíram que, tanto para estimativa dos diâmetros quanto dos volumes, uma das variações do modelo de Clark et al (1991), onde foi retirado do modelo os coeficientes  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ , obteve melhor desempenho.

Souza et al. (2008) avaliaram funções de afilamento segmentadas para estimativa dos volumes e das alturas comerciais das árvores de *Eucalyptus* sp. e concluíram que o modelo de Max e Burkhardt (1976) foi o que melhor estimou a altura comercial. Para a estimativa dos volumes comerciais os resultados foram semelhantes, mas nas alturas relativas de 25% e 35% da altura total o modelo de Parresol et al (1987) foi o melhor.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da Associação Brasileira dos Produtores de DFlorestas Plantadas**: ano base: 2010. ABRAF: Brasília, 130p. 2011.

ABREU, E. C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, H. K. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, n.6, p.86-102, jun.2002.

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.

APG II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 141, n. 4, p. 399-436, 2003.

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

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1 p.20-40. 2001.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciencia Florestal**. Santa Maria, Brasil V. 12, n.1, p. 89-107. 2002.

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

BALL, J. B.; PANDEY, D.; HIRAI, S. **Global overview of teak plantations**. Paper presented to the Regional Seminar “Site, technology and productivity of teak plantations”, Chiang Mai, Thailand, Jan, 1999. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/4602-06dd4a3ffc3583aae26be6c4cc5ef851a.pdf>. acesso em: 10 jul. 2009.

BARROSO, A. B. **Silvicultura especial de árvores maderables tropicales**. La Habana: Editorial Científico Técnico, 1983, p.342-356.

BEARD, J. S. The importance of race in teak, *Tectona grandis*. **Caribbean Forester**, Rio Piedras, Porto Rico, v.4, n.3, p.135-139, 1943.

BORGES, J.F. **Seccionamento do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada através da função polinomial**. Curitiba: UFPR, 1981. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CÁCERES FLORESTAL. **Manual do reflorestamento da teca**. Cáceres, MT. 1997. 31p.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, I. A. Variação da forma do fuste de clones de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba, **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, 1993. v.2, p.559-565.

CARDOSO, N. S. **Caracterização da estrutura anatômica da madeira, fenologia e relações com a atividade cambial de árvores de teca (*Tectona grandis* L.f.) - Verbenaceae**. 1991. 117p. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**. Viçosa – MG. v.27, n.6, p.799-809. 2003.

CLARK III, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for Southern tree species**. USDA: Southeastern /forest Experiment Station, 1991. 113p.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill Ex – Maiden**. 2004. 166 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CRUZ, J. P. **Crescimento de produção de *Tectona grandis* na região de Tangará da Serra - Mato Grosso**. 2005. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, Washington, v.18, n.3, p. 241-245, Sept.1972.

DEMAERSCHALK, J. P.; KOZAK, A. The whole-bole system: a conditional dual equation system for precise prediction of tree profiles. **Canadian Journal for Research**, v. 7, p. 488-497, 1977.

DRESCHER, R. SCHENEIDER, P. R. FINGER, C. A. G. Sortimentos de *Pinus elliottii* Engelm para a região da serra do sudeste do estado do Rio Grande do sul – Brasil. **Ciência Florestal**, v.9, n.2, p.55-73, 1999.

DUPUY, B.; VERHAEGEM, D. Le teck de plantation *Titula grandis* em Cted'Ivoire. **Bois ET Forêts dès Tropiques**, v. 235, n. 1, p. 9-24, 1993.

EISFELD, R. L.; MELLO A. A.; SNAQUETTA, C. R.; WEBER, K. S. Avaliação de modelos polinomiais na estimativa de volume total e por sortimento de *Pinus taeda*. **Brasil Florestal**, v.1, n.79, p.9-15, 2004.

FANG, Z.; BORDERS B.E.; BAILEY, R.L. Compatible volume-taper models for loblolly and slash pine based on a system with segmented-stem form factors. **Forest Science**, v.46, n.1, p.1-12, 2000.

FERREIRA, S. O. **Estudo da forma do fuste de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana***. 1999, 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Influência da resinagem no crescimento de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* e sua avaliação econômica**. Curitiba: UFPR – Setor de Ciências Agrárias, 1991, 138p. (Tese – Doutorado em Engenharia Florestal).

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v.83, n.1/2, p.36-46, June 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SCHAAF, L. B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.29, n.4, p.451-461, Apr. 1999.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. **Acta Amazonica**, v.36, n.4, p.465-482, 2006.

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

FINGER, C.A.G., ZANON, M.L.B., SCHNEIDER, P.R. *et al.* Funções de forma para *Eucalyptus dunnii* Maiden, implantados na depressão central e encosta do sudeste do Rio Grande do Sul. Santa Maria - RS. **Ciência Rural**, v.25, n.3, p.399-403, 1995.

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 - MG.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 1998.

FRIEDL, R.A. **Dinâmica da forma dos fustes em povoamentos plantados de *Araucária angustifolia* (Bert) O. Ktze.** Curitiba: UFPR – Setor de Ciências Agrárias, 1989, 166p. (Dissertação – Mestrado em Engenharia Florestal).

GAJASENI, J.; JORDAN, C. F. Decline of teak yield in northern Thailand: effects of selective logging on forest structure. **Biotrópica**, Washington, v.22, n.2, p.114-118, 1990.

GATTY, K. C. **Propagação vegetativa de pau mulato (*Calycophyllum apruceanum* (Benth) K. Schum.), jequitibá (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) e teca (*Tectona grandis* Linn.f) por miniestaquia.** 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GOMES, A.M.A. **Medição dos arvoredos.** Lisboa: Livraria Sá da Costa, 1957. 413p.

GOMES, J. E. **Desenvolvimento inicial de *tectona grandis* L.f. (Teca) em área de cerrado sobre diferentes espaçamentos.** 2002. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

GOULDING, C. J.; MURRAY, J. C. Polynomial taper equations that are compatible with tree volume Equations. **New Zeland Journal of Forest Science**, Rotoruna, v.5, n.3, p.313-322, Feb. 1976.

HIGUCHI, N. **Informações básicas para o manejo florestal da *Tectona grandis* L. introduzida no Alto Jaurú.** Cuiabá: UFMT/DEF, 1979, 92p. (mimeografado).

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation staitistisher abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forshungs projekten).** Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p.

HUSH, B; MILLER, C.L.; BEERS, T.E. **Forest mensuration.** 2. ed. New York: Ronald Press, 1972. 410p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Annual review and assessment of the world timber situation 2008.** Yokohama. 2009. 216p. (ITTO. Document GI-1/08). Disponível em: [HTTP://www.itto.int/annual\\_review/](http://www.itto.int/annual_review/). Acesso em: 22 Nov. 2009.

JIANG, L.; BROOKS, J. R.; WANG, J. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in west Virginia. **Forest Ecology and Management**, v.213, n.3, p.399-409. 2005.

KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* L. f.) Natural distribution and related factors. **Silvicultura**, v.30, n.2, p.173-179, 1983.



KDAMBI, K. **Silviculture and management of teak.** Bull. Nacagdoches, TX: Stephen F. Austin State of University, School of Forestry, 1972. 137p.

KIRCHNER, F. F. FIGUEIREDO FILHO, A. F. SCOLFORO, J. R. S. O uso de funções spline no cálculo de volumes de árvores. **Floresta**: Curitiba, v.19, n.1 e 2, p.116, 1989.

KULKALARINI, D. H. Distribution of teak (*Tectona grandis*) on the northern slopes of the Sapturas with special relation to geology. In: SILVICULTURAL CONFERENCE, 8., 1951, Dehradun. **Anais...** Dehradun: Forest Research Institute, 1951, p.254-263.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas, possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

LARSON, P.R. **Stem form development of forest tree.** Forest Science Monograph 5. 1963. P.41. Washington.

LEE, W.-K.; SEO, J.H.; SON, Y.M.; LEE, K.H.; VON GADOW, K. Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. **Forest Ecology and Management**, Madison, v.172, n.1, p.69-77, 2003.

LEITE, H. G.; GAMA, J. R. V.; CRUZ, J. P., SOUZA, A. L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.30, n.1, p.99-106, 2006.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. **Forest Inventory**, v. 2.. München: BLV, 1973. 469p.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 384p.

MACHADO, S. A.; FILHO A. F. **Dendrometria**, 2 ed. Guarapuava: Unicentro, 2006. p.316.

MACHADO, S. A.; URBANO, U.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEREDI FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Shceide. **Boletim de pesquisa florestal**. Colombo, PR. N.48, p. 41-64. Jan 2004.

MACHADO, S. do A. Influência da idade na forma do fuste de *Araucaria angustifolia* em plantações no Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: O uso de funções de forma de tronco em estudo de volumetria de espécies florestais, 5, Curitiba, 1982. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA. 1982, p. 51–55 (Documento 9).

MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L.f.) cultivada na Grande Cáceres - Mato Grosso.** 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP.

MAX, T. A.; BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Washington, v.22, n.3, p.283-289, Sept, 1976.

MELLO, H. A. Alguns aspectos da introdução da teca (*Tectona grandis* L.f.) no Brasil. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v.15, n.15, p.113-119, 1963.

MENDONÇA, A. R. **Avaliação de uma metodologia para otimização do volume de toras comerciais de *Eucalyptus* sp. em função da qualidade do fuste.** 91p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

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

MOURA, R. G. **Coleobrocas (Insecta: Coleoptera) associadas à madeira de *Tectona grandis* L.f. (Lamiaceae).** Dissertação (Mestrado em Ciências). 57p. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP.

MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHENEIDER, P. R. Forma do tronco e sortimentos de Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p.293-305. Santa Maria. 2005.

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

OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca – Nutriteca.** 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

OUNEKHAM, K. **Developing volume and taper equations.** A thesis for degree of Master of Forest Science. 83p. University of Canterbury. New Zeland – Australia, 2009.

PANDEY, D.; BROWN, C. Teak: a global overview. **Unasyiva**, v. 51, n. 1, p. 3-13, 2000.

PARRESOL, B. R.; HOTVEDT, J. E.; CAO, Q. V. "A Volume and taper prediction system for bald cypress. **Canadian J. of Forest Research**, Ottawa, v.17, n.3, p.250-259, 1987.

PEREIRA, J. E. S.; ANSUJ, A. P.; MÜLLER, I.; AMADOR, J. P. **Modelagem do volume do tronco do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden**. XII SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção. **Anais...** Bauru, SP, Brasil, 2005.

PRODAN, M. **Holzmesslehre**. Frankfurt: am mains J.D. Souerlanders Verlag, 1965. 644p.

PRODAN, M. PETERS, R. COX, F. **Mensura florestal**. San José, Costa Rica: IICA, 1997. 586p.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 134p.(Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

RADAMBRASIL. **Folha SD.21**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia. 1982. 540p.

RIOS, M. S.; **A eficiência das funções polinomiais, da função spline cúbica e razões de volume para representar o perfil da árvore e estimar os sortimentos de *Pinus elliottii***. Dissertação (Mestrado em engenharia florestal) 116p. Lavras, UFLA, 1997.

RONDON NETO, R. M.; MACEDO, R. L. G.; TSUKAMOTO FILHO, A. A. Formação de povoamentos florestais com *Tectona grandis* L.f (teca). **Boletim Técnico – Série Extensão**, Lavras, v.7, n.33, p.1-29, 1998.

RYAN, P.A. The management of Burmese teak forests. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v.61, n.2, p.115-120. 1982.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria, FACOS-UFSM, 2009. 294p.

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

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

SCOLFORO, J.R.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Biometria florestal: medição e volumetria de árvores**. Lavras: Universidade Federal de Lavras / Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão. 1998. 310p

SETH, S. K.; YADAV, J. S. P. Teak Soils. **Indian Forest**, v.85, n.1, p.2-16, 1959.

SHIMIZU, J.Y.; KLEIN, H; OLIVEIRA, J.R.V. **Diagnóstico das plantações florestais em Mato Grosso**. Cuiabá, MT: Central de Texto, 2007. 63p.

SILVA, J. A.; PAULA NETO, F. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: UFRPE, 1979. 185 p.

SILVA, J.A. **Seleção de parcelas amostrais aplicadas em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins biométricos em Santa Maria - RS**. Santa Maria: UFSM, 1974. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) - Universidade Federal de Santa Maria, 1974.

SMITH, D. M.; LARSON, B. C.; KELTY, M. J.; ASHTON, P. K. S. **The Practice of Silviculture Applied Forest Ecology**. New York. John Wiley & Sons, 1997. 537p.

SOARES, T. S. **Otimização do uso da madeira em povoamentos de eucalipto**. 2002. 49 f . Tese (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p.811-820, 2003.

SOUTER, R.A.; AND A; CLARK III. **Taper and volume prediction in southern tree species**. Asheville, NC. USDA For. Serv. Southern Research Station. FIA Work Unit Administrative Report, 2001. 113p.

SOUZA, A. N. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. em sistemas agroflorestais**. 203p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais. 2005.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de *Taper* não-segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo – Espírito Santo. 2007.

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

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

SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.18, n.3, p.387-399, 2008.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. 120p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul. 2009.

STREETS, R. J. **Exotic trees of the British Commonwealth**. Oxford, UK: Clarendon Press, 1962. p.712-725.

TROUP, R.S. **The silviculture of Indian trees**. v.2. Dehradun: Natraj,2006. 1196p.

UGALDE, L.; PÉREZ, O. Mean annual volume increment os selected industrial forest, FAO, working paper FP/1. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 16 apr 2011.

WEAVER, P. L. ***Tectona grandis* L.f. Teak**. New Orleans, LA: US. Departament of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 18p. 1993.

WHITE, K. J. **Teak: some aspects of research and development**. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and th Pacific (RAPA), 1991. 53p. RAPA publication: 1991/17.

## CAPITULO 01

### FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO OESTE – MT.

#### RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* L.f. numa propriedade no município de Rosário Oeste, estado de Mato Grosso, com o objetivo de comparar a acurácia das estimativas dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f. Para tanto, foram efetuados ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados para o conjunto total dos dados e com controle de classes diamétricas. Também foi comparada a acurácia das estimativas dos diâmetros em diferentes alturas para o conjunto total dos dados e com ajuste por classe diamétrica. A base de dados foi composta por 114 árvores de *Tectona grandis*, distribuídas em classes de diâmetro em função do desvio padrão. A cubagem foi realizada pela metodologia de Hohenadl modificada. Os modelos não segmentados testados foram o do Quinto Grau e o de Hradetzky 1976 e os modelos segmentados foram o de Max e Burkhart 1976 e de Clark et al. 1991. O ajuste dos modelos foi avaliado em função do Coeficiente de Determinação Corrigido, Erro Padrão da Estimativa e pela distribuição dos resíduos em percentagem (%). A acuracidade dos modelos foi avaliada pelo Desvio, Desvio Padrão das Diferenças, Somatório de Quadrado dos Resíduos Relativos e a Porcentagem dos Resíduos, que permitiram definir qual é o melhor modelo para estimar os diâmetros ao longo dos fustes. A partir dos resultados dos cálculos desses parâmetros estatísticos foi elaborada uma classificação para detectar o modelo que propiciou as melhores estimativas dos diâmetros ao longo do fuste. A Equação de Hradetzky é a mais acurada para estimar os diâmetros ao longo do fuste para espécie *Tectona grandis* L.f., tanto para o ajuste do conjunto total dos dados quanto para as classes de diâmetro, exceto na Classe 3, Faixa de DAP de 31,51 a 35,70 cm, onde a equação mais acurada é a de Clark et al.

**Palavras chave:** teca, forma do fuste, cubagem rigorosa, classe diamétrica, modelos polinomiais.

## CHAPTER 1

### SEGMENTED AND NON SEGMENTED TAPER FUNCTIONS TO ESTIMATE THE DIAMETERS ALONG THE STEM FOR STANDS OF *Tectona grandis* L. f. IN ROSÁRIO OESTE - MT.

#### ABSTRACT

This study was conducted in a stand of *Tectona grandis* L.f. on a property in the city of Rosario Oeste, Mato Grosso, and the aim of the study was to compare the accuracy of the estimates of the diameters along the bole of *Tectona grandis* L. f. To achieve this, adjustments were made for non-segmented and segmented polynomial models to the whole set of data and control of diameter classes. We also compared the accuracy of estimates of the diameters at different heights for the total data set and adjusted by diameter class. The database was composed of 114 *Tectona grandis* trees distributed among diameter classes according to the standard deviation. The tree scaling was performed by the modified Hohenadl methodology. The non-segmented models tested were Fifth Degree and Hradetzky and 1976 and the segmented models were by Max and Burkhart 1976 and Clark et al. 1991. The fit of the models was evaluated according to the Fixed Coefficient of Determination, Standard Error of Estimate and residuals distribution (%). The accuracy of the models along the stem was evaluated by the Deviation, the Standard Deviations of Differences, Sum of Squares of Relative Residues and Percentage of Residues, which allowed to define what is the best model to estimate diameters along the bole. From the results of calculations of these statistics a classification model that provided the best estimates of the diameters along the bole was designed. The Hradetzky equation is more accurate to estimate diameters along the bole for *Tectona grandis* L.f., both for adjusting the total data set as for diameter classes, except Class 3, Range DAP from 31,51 to 35,70 cm, where the Clark et al. equation is more accurate.

**Keywords:** teak, bole form, Rigorous tree scaling, diameter class, polynomial models.

## 1. INTRODUÇÃO

Afilamento do tronco (“taper”) é definido como o decréscimo em diâmetro da base para sua extremidade superior. A descrição do perfil longitudinal dos fustes torna-se complexa, pois os fustes não seguem o mesmo padrão de forma em toda sua extensão. A forma dos fustes é comparada a vários sólidos geométricos diferentes, denominados de protótipos dendrométricos onde as maiores irregularidades ocorrem em sua porção inferior.

Segundo Prodan et al. (1997), modelos de afilamento constituem uma importante ferramenta estatística de uso corrente na estimação dos perfis de fustes, pois permitem ao usuário estimar três características básicas das árvores: diâmetro em qualquer ponto do fuste, altura total ou a que se encontra em um diâmetro limite especificado e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

Cada vez mais, o mercado exige produtos diversificados e de qualidade. Como os produtos florestais não fogem a esta regra, é necessário utilizar técnicas de quantificação e qualificação de tais produtos, entre as quais estão os modelos de afilamento (LEITE et al., 2006).

Os modelos podem ser segmentados e não segmentados. Os modelos não segmentados são constituídos de um único modelo explicando toda extensão dos fustes. Os modelos segmentados constituem-se no do uso de sub-modelos justapostos, cada um representando uma porção do fuste. A união dos sub modelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo geral ajustados para seções inferiores, médias e superiores do fuste (SOUZA, 2007).

Vários estudos vem sendo desenvolvidos para representar o perfil dos fustes para *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., porém pesquisas com *Tectona grandis* L.f. ainda são escassas. Partindo do exposto o objetivo deste trabalho foi comparar a acurácia das estimativas dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f. propiciadas por ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados para o conjunto total dos dados e com controle por classe diamétrica.



## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* L.f. no município de Rosário Oeste, Estado de Mato Grosso, em uma área circunscrita a um ponto central com a coordenada geográfica 56° 32' 47,47" W e 15° 02' 43,96" S, a 192 metros de altitude (FIGURA 1).

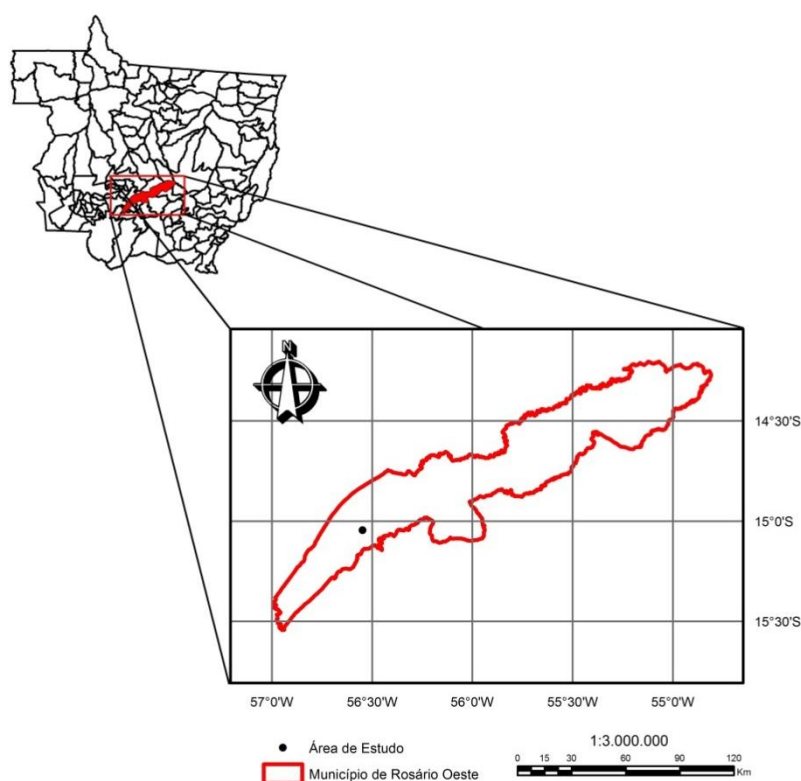


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região onde os povoamentos se encontram possui características de clima do tipo Aw (Clima Tropical de estação seca), conforme a classificação de Köppen. Segundo Campelo Júnior et al. (1991), a temperatura é mais elevada na Baixada Cuiabana, no período entre o final de outubro até o início de abril, alcançando temperatura média igual ou superior a 30°C entre 24 de setembro e

11 de outubro. Entre 09 de maio e 05 de setembro ocorrem as temperaturas médias inferiores a 20°C. A precipitação média anual é de 1346,9 mm e a umidade relativa média anual de 73%.

A área de estudo é caracterizada como Depressão do Rio Paraguai (Epi), formado por pediplano inundado, com superfície de aplanamento elaborado por processos de pediplanação, posteriormente recobertos por sedimentos quaternários. Dentro desta unidade, ocorre a subunidade Depressão Cuiabana, localizada na extremidade sudoeste do estado, apresentando um relevo plano, que foi modelado em litologias do Grupo Cuiabá e se apresenta encoberto por material argilo-arenoso, com ocorrências de horizontes concrecionários. Essa área é abrangida pela formação geológica denominada Formação Pantanal (BRASIL, 1980).

O solo da região é predominante do tipo Concrecionário Câmbico Álico (SCCa), caracterizado por ser um solo minerail, bem drenado, de profundidade mediana, com presença de concreções de ferro ao longo do perfil em quantidade maior que 50% do volume (SEPLAN, 2001).

## 2.2 Obtenção dos dados de campo

Para o ajuste das equações previstas neste trabalho, foi efetuada a cubagem rigorosa de 114 árvores, de um povoamento com 16 anos de idade, submetido a dois desbastes, e as árvores foram distribuídas em cinco classes de diâmetro, cuja amplitude foi estabelecida com base no desvio padrão do DAP.

A cubagem de 114 árvores foi efetuada pelo método de Hohenadl modificado, sendo que para 60 árvores foi utilizado o método destrutivo, com o seu abate e outras 14 árvores foram cubadas em pé, com o auxílio da técnica de rapel. As 40 árvores restantes foram cubadas com o aparelho "Criterion". A indicação da eficiência do uso deste aparelho foi atestada por Machado e Figueiredo Filho (2006), que citaram as pesquisas realizadas por Liu et al.

(1993)<sup>3</sup> e Labau (1991)<sup>4</sup>. No entanto, estas mesmas pesquisas revelaram baixa exatidão na medição de alturas, notadamente quando os registros são efetuados a pequenas distâncias da árvore, ou quando há necessidade de inclinar o instrumento acima de 50°. No presente estudo estes critérios foram considerados para evitar essas fontes de erros não amostrais.

Os diâmetros reais foram determinados pelo método de Hohenadl modificado, como utilizado por Assis et al. (2001), Souza (2007), em todas as 114 árvores, tomando-se as medidas dos diâmetros relativos a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total das árvores. Para a medição dos diâmetros, em campo, foi utilizada uma suta para medição dos diâmetros e uma trena para medição da altura. A altura total foi tomada onde o ápice do fuste mediu 5 cm de diâmetro.

Os ajustes dos modelos foram feitos considerando os diâmetros a 1,3 metros do solo (DAP) com casca, e os diâmetros nas alturas relativas explicitadas anteriormente.

A intensidade amostral por classe diamétrica foi determinada pela variação dos volumes, considerando um limite de erro máximo de 10% a uma probabilidade de confiança de 95% (TABELA 1).

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. CUBADAS NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO

N ° da Classe	Faixa de DAP (cm)	Frequência
1	22,90 - 27,20	22
2	27,21 - 31,50	26
3	31,51 - 35,70	17
4	35,71 - 40,00	33
5	40,10 - 44,00	16
Total		114

<sup>3</sup> LIU, C. J.; HUANG, X.; EICHEMBERGER, J. K. Using laser technology for measuring trees. In: MODERN METHODS OF ESTIMATING TREE AND LOG VOLUME. IUFRO Conference 14-16. 1993. **Anais...** West Virginia University Publication Services, 1993. 13p.

<sup>4</sup> LABAU, V. J.; Tree height measurement indicator study: performance of leaser height finder. FY 92 Forest Health Monitoring Western Pilot Operations Report. **Forest Research Station**, 15p. 1991.

### 2.3 Modelos matemáticos empregados

Foram empregadas funções de afilamento segmentadas e não segmentadas para descrever os diâmetros. Os dois modelos polinomiais não segmentados empregados foram:

Modelo do Quinto Grau proposto por Schöepfer (1966):

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{H}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{H}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{H}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{H}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{H}\right)^5 + ei$$

sendo:  $d_i$  = diâmetro à altura  $hi$  do tronco;  $H$  = altura total;  $hi$  = altura até uma seção “i” n fuste, em m;  $D$  = diâmetro à altura do peito;  $\beta_i$  = parâmetros a serem estimados;  $ei$  = Erro da estimativa

Isolando  $d_i$ , é obtida a função de afilamento pela qual se estima o diâmetro correspondente a qualquer altura na árvore, desde que fornecido o seu diâmetro a 1,3 m ( $D$ ) e a altura total. Passou, portanto, a fórmula de trabalho a possuir o modelo de equação:

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

Modelo de Potências Fracionárias (HRADETZKY, 1976):

$$\frac{d_i}{D} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p1} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{H}\right)^{p2} + \dots + \beta_n \left(\frac{h_i}{H}\right)^{pn} + e_i$$

Sendo:  $pn$  = Potencias com maior relevância estatística;  $d_i$ ,  $h_i$ ,  $h$ ,  $D$ ,  $\beta_i$ ,  $e_i$  conforme definidos anteriormente

Isolando  $d_i$ , é obtida a função de afilamento pela qual se estima o diâmetro correspondente a qualquer altura na árvore, desde que fornecido o seu diâmetro a 1,3 m ( $D$ ) e a altura total. Passou, portanto, a fórmula de trabalho a possuir o modelo de equação:

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

Quanto aos modelos polinomiais segmentados, os dois empregados foram o de Max e Burkhart (1976) e o de Clark et al. (1991), apresentados a seguir:

Modelo segmentado de Max e Burkhart 1976 :

$$d_i = D[\beta_1(X - 1) + \beta_2(X^2 - 1) + \beta_3(a_1 - X)^2 * I_1 + \beta_4(a_2 - X)^2 * I_2]^{0,5} + e_i$$

Sendo:  $a_1$  e  $a_2$  = pontos de ligação dos polinômios;  $d_i$ ,  $D$ ,  $h_i$ ,  $H$ ,  $e_i$ ,  $\beta_i$ , já definidos anteriormente;  $X = h_i / H$ ; Condições de  $I_i$ :  $I_i = 1$ , se  $X < a_i$  e  $I_i = 0$ , se  $X > a_i$ .

Modelo segmentado de Clark III et al. (1991):

$$d_i = \left[ I_s \left\{ D^2 \left( 1 + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{D^3} * \frac{\left( \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\alpha_3} - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right)}{1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3}} \right) \right\} + I_b \left\{ D^2 - \frac{(D^2 - F^2) * \left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\beta_1} \right)}{\left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{5,2}{H} \right)^{\beta_1} \right)} \right\} + I_T \left\{ F^2 \left( \gamma_2 \left( \left( \frac{h_i - 5,2}{H - 5,2} \right) - 1 \right)^2 \right) + I_M \left( \frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} * \left( \gamma_1 - \left( \left( \frac{h_i - 5,2}{H - 5,2} \right) \right)^2 \right) \right) \right\} \right]^{0,5} + e_i$$

Sendo:  $I_s = 1$ , se  $h_i < 1,3$  m;  $I_s = 0$ , se  $h_i > 1,3$  m;  $I_b = 1$ , se  $1,3 \text{ m} < h_i < 5,2$  m; 0, se difere da condição anterior;  $I_T = 1$ , se  $h_i > 5,2$  m; 0, se difere da condição anterior;  $I_M = 1$ , se  $h_i < (5,3 + \gamma_1 (h_i - 5,3))$ ; 0, se diferente da condição anterior;  $\alpha_i$ = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco abaixo de 1,3 m;  $\beta_i$ = parâmetro a ser estimado para a seção do tronco entre 1,3 m e 5,2 m;  $\gamma_i$ = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco acima de 5,2 m;  $F$  = diâmetro com casca (cm) a 5,3 m de altura (classe de altura do Quociente de Forma de Girard);  $D, d, H, h_i$ = Já definidos anteriormente;  $e_i$ = erro de estimativa.

## 2.4 Processamento dos dados

Para os ajustes das funções de afilamento segmentadas e não segmentadas e para obtenção dos coeficientes da regressão foi utilizado o programa R. O ajuste do modelo proposto por Hradetzky foi realizado pelo processo de regressão “passo - a - passo” (“stepwise”). As potências utilizadas foram: 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; e 25. No caso das funções segmentadas, o algoritmo utilizado para minimizar a soma de quadrado dos resíduos foi o de Marquardt.

## 2.5 Avaliação estatística das equações

### 2.5.1 Seleção das equações

Para avaliar o ajuste das funções de afilamento segmentadas e não segmentadas foram calculados o Coeficiente de Determinação Corrigido ( $R^2$ ), e o Erro Padrão da Estimativa em percentagem ( $Syx\%$ ). Foi avaliada também a distribuição percentual dos resíduos.

Para analisar o desempenho das estimativas ao longo do fuste, foram calculados o Desvio (D), o Desvio Padrão das Diferenças (SD), o Somatório dos Quadrados dos Resíduos Relativos (SQRR) e o Resíduos Percentuais (RP), como utilizados por Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer (1997), Scolforo et al. (1998), Assis (2000), Assis et al. (2001 e 2002) e Queiroz (2006). Tais estatísticas (TABELA 2) permitiram uma avaliação mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo de todo o fuste, uma vez que foi calculada para cada altura relativa, onde foram tomados os diâmetros por ocasião da cubagem rigorosa. Foi avaliada também a possível tendenciosidade através dos perfis médios reais e estimados para os diâmetros ao longo do fuste.

TABELA 2 – FÓRMULAS UTILIZADAS NO TESTE DE ACURACIDADE PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DE *Tectona grandis* L.f..

	Diâmetros
Desvio (D)	$\frac{(\sum Diff_i)}{N}$
Desvio Padrão das Diferenças (SD)	$\left[ \frac{\sum (Diff_i - d_i)^2}{(N - 1)} \right]^{0,5}$
Soma do Quadrado do Resíduo Relativo (SQRR)	$\sum \left( \frac{Diff_i}{d_i} \right)^2$
Porcentagem dos Resíduos (RP)	$\frac{\sum \left( \frac{Diff_i}{d_i} \right) * 100}{N}$

Sendo:  $Diff_i = (d_i - d_{estimado})$  é o desvio dos diâmetros;  $D_i$  = diâmetro da árvore na posição  $i$  do fuste;  $N$  = número de árvores.

A partir dessas estatísticas foi elaborado um ranking para expressar o desempenho dos modelos testados na estimativa dos diâmetros ao longo do fuste, para cada classe diamétrica e para o conjunto total dos dados, sendo desconsiderando o controle de classes. Considerando cada uma das estatísticas auxiliares foram atribuídas notas de 1 a 4, respectivamente, para a mais acurada e a menos acurada, em cada posição relativa de medição, procedimento esse utilizado por Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer (1997), Scolforo et al. (1998), Assis et al. (2001), Figueiredo et al. (2006), Queiroz (2006), Souza (2007 e 2009).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Ajuste dos modelos de afilamento para o conjunto total de dados e por classes de diâmetro

Os parâmetros estimados para os quatro modelos testados por classe diamétrica e para o conjunto total dos dados são apresentados na TABELA 3, com os respectivos Erros Padrão da Estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ) e Coeficientes de Determinação Corrigidos ( $R^2$ ). Essas estatísticas refletem a qualidade dos modelos e demonstram a correlação entre as variáveis

independentes e a variável dependente, porém não se constituem no instrumento mais adequado para a tomada de decisão sobre qual modelo apresenta o melhor desempenho. Estas estatísticas retratam valores médios, não fornecendo nenhum indicativo do comportamento ao longo do fuste. Os testes foram complementados pelas estatísticas da TABELA 2, permitindo assim uma avaliação mais detalhada ao longo do fuste.

Os modelos testados apresentaram Coeficientes de Determinação Corrigidos ( $R^2$ ) superiores a 0,95 e Erros Padrão da Estimativa percentuais ( $S_{yx}\%$ ) entre 4 e 10%, conforme observado na TABELA 3.

O modelo do Quinto Grau, apesar de apresentar valores do Coeficiente de Determinação Corrigido ( $R^2$ ) superiores a 9,95 e o Erro Padrão da Estimativa percentual ( $S_{yx}\%$ ) abaixo de 10%, foi o que apresentou os piores resultados, tanto para o conjunto total dos dados, quanto para o ajuste por classe diamétrica, confirmando o mesmo desempenho desse modelo encontrado por Figueiredo et al. (2006), para povoamento de *Tectona grandis* L.f., no estado do Acre.

Ajustes mais apropriados e bastante semelhantes entre si foram detectados para os modelos de Clark et al. 1991, Hradetzky 1976 e Max e Burkhart 1976; no entanto, para o modelo de Clark et al. 1991 o ajuste foi superior em função dos melhores resultados para o coeficiente de determinação corrigido, erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos.



TABELA 3 – PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU, DE HRADETZKY DE 1976, MAX E BURKHART DE 1976 E DE CLARK ET AL. DE 1991, POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA CONJUNTO TOTAL DE DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

Quinto Grau										
Classes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	Syx (%)	R <sup>2</sup>		
1	1,2775	-5,3685	23,7782	-49,4860	45,5959	-15,6179	8,43	0,95		
2	1,2730	-5,5859	25,7571	-55,1281	51,5892	-17,7422	8,64	0,95		
3	1,2787	-6,0073	28,9401	-64,9790	64,0113	-23,1015	9,33	0,95		
4	1,3231	-6,3505	29,1961	-64,2126	63,2122	-23,0363	8,18	0,96		
5	1,3137	-6,5828	31,1593	-70,0680	70,6305	-26,3312	6,23	0,98		
<b>Conjunto Total</b>	1,2945	-5,9442	27,4711	-59,9574	58,0700	-20,7857	8,52	0,96		
Hradetzky										
Classes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	Syx (%)	R <sup>2</sup>
1	385,6015	-512,8751	128,1212	-0,6586					7,05	0,96
potências		0,005	0,02	2						
2	33,8869	-33,4330	0,5633	-0,9594	0,1138				7,60	0,96
potências		0,005	0,7	2,00	6					
3	32,8052	-32,3269	0,3438	-0,6697					8,32	0,96
potências		0,005	0,6	2						
4	34,4614	-33,9796	0,2310	-0,5103	-0,0662				7,22	0,97
potências		0,005	0,5	2	25					
5	35,4082	-34,9820	0,2560	-0,4403	-0,1173				4,42	0,99
potências		0,005	0,4	2	25					
<b>Conjunto Total</b>	5690,8028	-7399,8394	-296,8023	2006,0246	1,6340	-2,1013	0,5676	-0,1328	7,23	0,97
potências		0,005	0,08	0,03	2	3	7	25		

Continuação...

TABELA 3 – PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU, DE HRADETZKY DE 1976, MAX E BURKHART DE 1976 E DE CLARK ET AL. DE 1991, POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA CONJUNTO TOTAL DE DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

Max e Burkhart								
Classes	a1	a2	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	Syx (%)	R <sup>2</sup>
1	0,0463	0,8951	3,7974	-2,5541	421,1	2,8928	7,35	0,99
2	0,0484	0,9500	10,117	-5,678	345,1	6,1088	7,80	0,96
3	0,0490	0,9500	22,1954	-11,9606	360,1	12,5128	8,39	0,95
4	0,0695	0,9500	29,4208	-15,7551	191,9	16,2617	7,46	0,96
5	0,0700	0,9210	16,1841	-9,0639	192,3	9,535	4,91	0,98
<b>Conjunto Total</b>	0,0652	0,9503	24,0654	-12,9708	207,6	13,3995	7,74	0,97
Clark et al.								
Classes	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\beta_1$	$\Upsilon_1$	$\Upsilon_2$	Syx (%)	R <sup>2</sup>
1	1,6065	-7587,6	66,441	6,6336	1,019	-27,6815	6,97	0,97
2	0,6733	9585,0	63,3028	7,4555	1,02	-21,6426	7,45	0,96
3	1,2221	-4567,0	65,1981	8,1976	1,0855	-4,2475	6,94	0,96
4	1,1413	1046,5	52,0951	3,7769	1,086	-5,4424	6,04	0,97
5	1,2316	-5647,3	57,1958	5,2601	1,111	-4,6051	4,84	0,98
<b>Conjunto Total</b>	1,2513	-4572,8	57,9901	5,4674	1,069	-6,6875	7,15	0,97

As equações apresentaram alguma tendenciosidade ao longo da linha média, sobretudo na porção superior do fuste onde ocorrem os menores diâmetros (FIGURA 2). Essa tendência foi constatada por Queiroz (2006), para *Mimosa scabrella* Bentham na região metropolitana de Curitiba – PR, e é observada no ajuste por classe diamétrica (FIGURAS 3, 4, 5, 6 e 7, do Anexo).

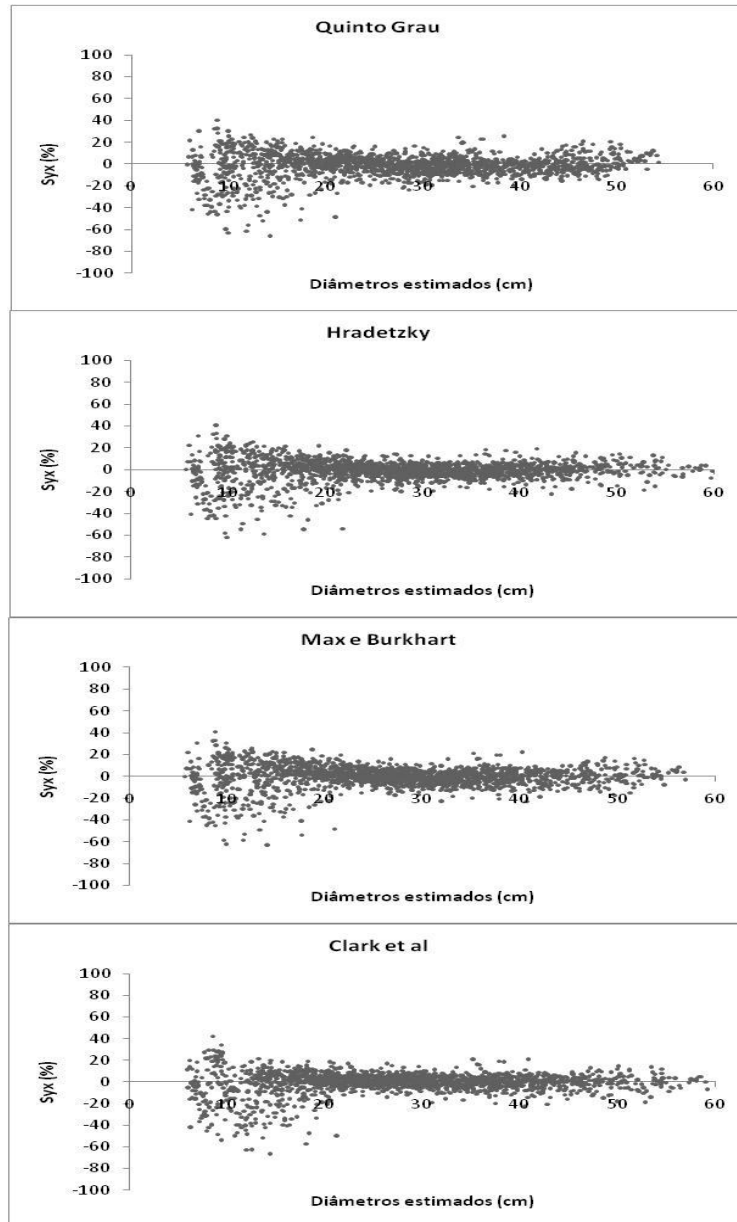


FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

### 3.2 Acuracidade dos modelos para estimativa dos diâmetros nas alturas relativas do fuste

As estatísticas utilizadas para a avaliação da acuracidade, proporcionadas pelas equações ajustadas para os segmentos avaliados dos troncos das árvores, mostraram que a equação de Hradetzky foi a mais acurada de todos os modelos ajustados.

A equação de Hradetzky foi a mais acurada nas alturas relativas a 0, 1, 2, 5, 25, 35, 45, 65, 85 e 95% da altura total das árvores, ou seja, em 53% das posições relativas estudadas. Descreveu com maior eficácia os diâmetros na base dos fustes, onde se apresentam os maiores diâmetros, mostrando que a inclusão de variáveis de maiores potências conseguem melhor descrever as irregularidades desta parte das árvores (TABELA 4).

Esta tendência foi também demonstrada por Conceição (2004) e por Souza (2005), para *Eucalyptus* spp e igualmente por Assis et al. (2002) e por Machado et al. (2004), para *Pinus* spp.

Nas equações ajustadas por classes diamétricas, para a estimativa dos diâmetros ao longo dos fustes, o modelo de Hradetzky foi mais acurado para quatro das cinco classes estudadas (1,2,4 e 5). No entanto, na classe 3, a equação de Clark et al. foi melhor em 53,12% das alturas relativas do fuste e descreveu melhor a base dos fustes das árvores. (TABELAS 5 a 9).

Na TABELA 10 é apresentada uma síntese dos modelos que alcançaram os melhores ajustes, por alturas relativas dos fustes e por classes diamétricas, e os seus respectivos índices percentuais.

TABELA 4 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. F. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DO CONJUNTO TOTAL DOS DADOS, PARA CADA MODELO.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
Modelo	Estatística	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,611	0,106	-1,305	-1,643	-1,380	-0,845	0,788	1,171	0,399	-0,801	-0,788	-0,159	0,512	0,300	-0,602	0,005
	SD	5,304	3,063	2,441	2,259	1,975	1,568	1,449	2,049	1,393	1,738	2,038	1,673	2,214	2,031	1,983	1,789
	SSRR	1,271	0,623	0,543	0,508	0,410	0,249	0,238	0,716	0,297	0,522	0,847	0,789	2,087	2,468	4,882	5,565
	RP	7,011	-0,623	-3,832	-4,841	-4,188	-2,590	2,475	3,722	1,552	-3,046	-3,295	-0,780	1,751	0,492	-8,251	-5,017
Hradetzky	D	0,095	-0,030	0,228	-0,017	-0,050	0,079	-0,023	-0,204	-0,070	-0,151	-0,086	-0,210	-0,126	-0,010	-0,086	0,077
	SD	3,777	3,055	2,107	1,592	1,441	1,322	1,242	1,726	1,364	1,496	1,821	1,682	2,183	2,018	1,890	1,793
	SSRR	0,830	0,633	0,348	0,223	0,197	0,164	0,177	0,623	0,279	0,398	0,682	0,798	2,240	2,601	3,912	5,380
	RP	-0,570	-0,952	0,154	-0,395	-0,432	0,070	-0,079	-0,927	1,000	-0,463	-0,286	-1,023	-1,794	-1,615	-3,625	-4,111
Max e Burkhart	D	1,702	-1,125	-1,242	-0,495	0,519	1,401	0,371	-0,544	-0,642	-0,222	0,451	0,631	0,519	0,059	-0,400	0,049
	SD	4,180	3,219	2,402	1,652	1,549	1,939	1,283	1,809	1,540	1,510	1,832	1,728	2,216	2,017	1,931	1,792
	SSRR	0,867	0,806	0,525	0,260	0,205	0,323	0,188	0,676	0,350	0,404	0,697	0,827	2,088	2,562	4,444	5,449
	RP	2,849	-3,599	-3,669	-1,704	1,176	3,876	1,162	-2,076	-2,278	-0,746	2,013	2,990	1,790	-1,141	-6,440	-4,461
Clark et al.	D	0,758	-1,026	-0,250	0,214	0,444	0,488	-0,263	-0,148	0,664	0,453	0,466	0,144	-0,265	-0,735	-0,727	1,419
	SD	3,844	3,126	2,084	1,586	1,504	1,400	1,139	1,515	1,375	0,960	1,528	1,473	2,023	2,043	2,037	2,415
	SSRR	0,811	0,726	0,361	0,211	0,196	0,175	0,155	0,494	0,238	0,162	0,458	0,602	2,101	3,093	5,442	5,721
	RP	1,065	-3,125	-0,958	0,306	0,987	1,248	-0,973	-0,969	2,117	1,582	1,715	0,272	-2,939	-6,914	-9,917	12,086
		NOTAS															
5° Grau		16	6	16	16	15	12	16	16	10	16	16	8	8	8	12	6
Hradetzky		5	6	5	7	5	4	6	7	5	6	6	12	9	9	4	9
Max e Burkhart		12	16	12	12	13	16	12	12	16	10	11	16	12	7	8	9
Clark et al.		7	12	7	5	7	8	6	5	9	8	7	4	9	16	16	16

TABELA 5 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 1, PARA CADA MODELO.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
Modelo	Estatística	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,912	0,658	-1,917	-2,031	-1,578	-1,286	1,077	1,611	0,717	-0,742	-1,213	0,142	1,092	0,381	-1,203	0,506
	SD	1,675	0,861	0,949	0,884	0,751	0,621	0,703	0,750	0,491	0,535	0,658	0,480	0,655	0,554	0,735	0,492
	SSRR	0,092	0,030	0,051	0,046	0,037	0,028	0,034	0,045	0,024	0,039	0,072	0,042	0,096	0,101	0,342	0,203
	RP	0,934	0,146	-0,587	-0,638	-0,517	-0,437	0,369	0,612	0,292	-0,369	-0,652	0,041	0,631	0,200	-1,287	0,475
Hradetzky	D	0,532	-0,832	0,090	-0,109	0,010	0,442	0,250	0,027	-0,378	-0,577	0,072	0,253	0,235	0,209	-0,211	-0,269
	SD	3,439	2,263	1,806	1,140	1,091	0,926	0,907	1,037	1,108	0,965	0,983	1,013	1,329	1,541	1,098	0,777
	SSRR	0,188	0,140	0,086	0,042	0,041	0,028	0,030	0,041	0,062	0,058	0,063	0,075	0,206	0,402	0,373	0,464
	RP	0,530	-3,174	-0,032	-0,607	-0,166	1,566	0,935	-0,065	-1,948	-2,972	0,193	1,259	0,918	0,235	-3,492	-5,662
Max e Burkhart	D	1,137	-1,412	-0,357	0,231	0,750	0,879	-0,372	-0,773	-0,912	-0,716	0,222	0,524	0,449	0,227	-0,426	-0,007
	SD	3,575	2,521	1,842	1,160	1,319	1,185	0,954	1,284	1,376	1,052	1,002	1,103	1,376	1,543	1,159	0,727
	SSRR	0,190	0,178	0,094	0,041	0,053	0,044	0,035	0,070	0,100	0,068	0,064	0,087	0,211	0,401	0,436	0,368
	RP	2,248	-5,022	-1,546	0,613	2,566	3,190	-1,578	-3,477	-4,431	-3,672	0,989	2,828	2,348	0,386	-5,797	-1,447
Clark et al.	D	0,777	-1,208	0,079	0,200	0,321	0,557	-0,172	0,080	0,184	-0,219	0,280	0,254	-0,008	-0,220	-0,537	0,646
	SD	3,415	2,418	1,845	1,129	1,118	0,969	0,800	0,881	0,597	0,854	1,177	1,008	0,908	1,494	1,187	0,992
	SSRR	0,183	0,160	0,089	0,039	0,041	0,030	0,024	0,028	0,016	0,040	0,083	0,075	0,101	0,395	0,447	0,498
	RP	1,295	-4,318	-0,050	0,520	0,993	1,999	-0,761	0,190	0,782	-1,097	1,336	1,351	-0,387	-3,015	-6,844	9,069
		NOTAS															
5° Grau		16	4	16	16	15	12	16	16	11	13	14	6	12	13	8	14
Hradetzky		6	8	5	8	5	4	8	6	9	8	4	9	8	5	4	8
Max e Burkhart		12	16	11	11	10	16	12	12	16	15	8	16	16	14	12	4
Clark et al.		6	12	8	5	10	8	4	6	4	4	14	9	4	8	16	14

TABELA 6 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 2, PARA CADA MODELO.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
Modelo	Estatística	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,011	-0,248	-1,167	-1,370	-1,048	-0,697	0,906	0,722	0,390	-0,323	-0,674	-0,025	0,370	0,344	-0,367	-0,299
	SD	2,380	1,114	0,925	0,905	0,722	0,628	0,753	1,160	0,526	0,608	0,751	0,691	1,110	0,934	0,830	0,545
	SSRR	0,315	0,112	0,102	0,101	0,067	0,053	0,077	0,389	0,050	0,086	0,162	0,159	0,668	0,571	0,876	0,733
	RP	1,561	-0,257	-0,860	-1,023	-0,803	-0,560	0,694	0,421	0,345	-0,388	-0,809	-0,143	0,039	0,168	-1,523	-1,513
Hradetzky	D	0,506	-0,760	-0,183	-0,063	0,183	0,293	0,395	-0,557	-0,460	-0,064	0,024	0,293	0,069	-0,108	-0,280	0,113
	SD	1,915	1,165	0,745	0,624	0,526	0,551	0,645	1,145	0,545	0,589	0,672	0,703	1,098	0,925	0,822	0,525
	SSRR	0,221	0,129	0,063	0,045	0,033	0,037	0,059	0,447	0,058	0,077	0,122	0,155	0,702	0,632	0,832	0,548
	RP	0,098	-0,588	-0,179	-0,077	0,112	0,193	0,274	-0,728	-0,463	-0,128	-0,046	0,243	-0,399	-0,651	-1,308	-0,070
Max e Burkhart	D	1,212	-1,200	-0,554	0,276	0,932	0,798	-0,329	-1,446	-0,908	0,039	0,465	0,780	0,336	-0,203	-0,622	0,265
	SD	1,988	1,246	0,786	0,635	0,681	0,654	0,637	1,312	0,662	0,588	0,704	0,780	1,108	0,929	0,865	0,536
	SSRR	0,225	0,153	0,072	0,045	0,053	0,050	0,064	0,565	0,089	0,076	0,126	0,179	0,670	0,654	1,032	0,533
	RP	0,509	-0,873	-0,435	0,168	0,669	0,577	-0,320	-1,525	-0,888	-0,024	0,435	0,832	-0,010	-0,824	-2,153	0,461
Clark et al.	D	0,725	-1,052	-0,094	0,303	0,502	0,364	-0,015	-0,368	0,282	0,435	0,285	0,137	-0,623	-1,281	-1,502	0,360
	SD	1,914	1,222	0,751	0,634	0,569	0,558	0,569	0,922	0,388	0,405	0,577	0,669	1,094	1,041	1,029	0,512
	SSRR	0,214	0,146	0,062	0,045	0,037	0,037	0,048	0,305	0,030	0,035	0,086	0,151	0,764	0,947	1,776	0,499
	RP	0,220	-0,785	-0,122	0,185	0,348	0,247	-0,059	-0,515	0,265	0,417	0,276	0,080	-1,355	-2,698	-4,259	0,842
		NOTAS															
5° Grau		16	4	16	15	16	13	16	10	8	14	16	8	10	8	8	12
Hradetzky		6	8	7	5	4	4	10	10	12	9	6	11	9	6	4	5
Max e Burkhart		12	16	12	11	12	15	10	16	16	5	12	16	8	10	12	7
Clark et al.		6	12	5	9	8	8	4	4	4	12	6	5	13	16	16	16

TABELA 7 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 3, PARA CADA MODELO.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
Modelo	Estatística	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,421	0,068	-1,109	-1,661	-1,515	-0,657	0,986	1,222	0,298	-0,644	-0,207	-0,401	0,681	0,550	-0,622	0,013
	SD	2,038	1,223	1,036	0,821	0,776	0,702	0,599	0,873	0,681	0,644	0,766	0,819	1,061	0,828	0,920	1,052
	SSRR	0,196	0,104	0,091	0,067	0,063	0,048	0,038	0,076	0,059	0,076	0,123	0,194	0,385	0,361	1,051	1,606
	RP	0,965	-0,095	-0,512	-0,714	-0,680	-0,324	0,434	0,549	0,101	-0,421	-0,230	-0,477	0,216	0,226	-1,586	-1,478
Hradetzky	D	0,622	-0,419	0,001	-0,251	-0,235	0,324	0,324	-0,088	-0,095	0,241	0,774	-0,379	-0,276	-0,364	-0,347	0,881
	SD	1,525	1,228	0,954	0,538	0,533	0,670	0,478	0,732	0,671	0,600	0,817	0,818	1,028	0,807	0,900	1,112
	SSRR	0,138	0,112	0,068	0,027	0,027	0,038	0,026	0,059	0,061	0,059	0,121	0,192	0,453	0,447	0,928	1,156
	RP	0,049	-0,271	-0,082	-0,138	-0,138	0,096	0,125	-0,108	-0,113	0,093	0,381	-0,461	-0,606	-0,733	-1,195	0,255
Max e Burkhart	D	1,015	-1,279	-0,545	0,198	0,812	1,141	-0,484	-1,265	-0,982	-0,047	0,999	0,135	0,252	-0,098	-0,570	0,130
	SD	1,574	1,305	0,972	0,538	0,621	0,794	0,495	0,874	0,767	0,593	0,852	0,810	1,030	0,797	0,915	1,054
	SSRR	0,141	0,136	0,076	0,025	0,031	0,051	0,031	0,100	0,091	0,060	0,128	0,168	0,402	0,407	1,025	1,517
	RP	0,176	-0,581	-0,293	0,045	0,305	0,446	-0,253	-0,698	-0,596	-0,074	0,522	-0,082	-0,152	-0,454	-1,511	-1,244
Clark et al.	D	0,472	-0,995	0,071	0,182	0,115	0,330	-0,211	0,065	0,488	0,735	1,343	0,112	-0,041	-0,523	-0,896	0,418
	SD	1,491	1,248	0,946	0,534	0,527	0,669	0,415	0,539	0,503	0,432	0,877	0,758	0,963	0,718	0,866	1,024
	SSRR	0,134	0,122	0,066	0,025	0,025	0,038	0,022	0,033	0,033	0,031	0,136	0,151	0,411	0,400	1,053	1,275
	RP	0,003	-0,476	-0,053	0,040	0,010	0,099	-0,122	-0,015	0,232	0,416	0,760	-0,073	-0,375	-0,850	-1,901	-0,613
		NOTAS															
5° Grau		16	4	16	16	16	12	16	12	9	15	5	16	11	7	12	11
Hradetzky		8	8	7	12	8	6	8	8	7	9	7	12	12	13	4	10
Max e Burkhart		12	16	12	8	12	16	12	16	16	7	12	8	8	9	8	11
Clark et al.		4	12	5	4	4	6	4	4	8	9	16	4	9	11	16	8



TABELA 8 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 4, PARA CADA MODELO.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
Modelo	Estatística	0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,943	0,068	-1,671	-1,887	-1,570	-0,950	0,837	1,645	0,591	-1,012	-0,722	0,189	0,809	0,166	-0,809	0,328
	SD	3,077	2,090	1,574	1,488	1,271	0,939	0,753	1,157	0,786	0,935	1,104	0,773	1,301	1,214	1,219	1,127
	SSRR	0,341	0,220	0,163	0,163	0,126	0,070	0,048	0,127	0,070	0,146	0,224	0,126	0,551	0,751	1,667	1,964
	RP	1,979	-0,153	-1,182	-1,366	-1,170	-0,724	0,656	1,373	0,505	-1,140	-0,966	0,134	0,781	-0,296	-2,750	-0,479
Hradetzky	D	0,531	-0,537	-0,343	-0,161	0,037	0,330	0,196	0,135	-0,125	-0,342	0,208	0,324	0,107	-0,450	-0,501	0,718
	SD	2,259	2,109	1,308	1,094	0,951	0,805	0,618	0,758	0,721	0,784	1,039	0,786	1,231	1,235	1,171	1,178
	SSRR	0,215	0,235	0,106	0,084	0,067	0,048	0,033	0,058	0,065	0,098	0,175	0,127	0,569	0,882	1,473	1,818
	RP	0,110	-0,519	-0,313	-0,180	-0,028	0,206	0,139	0,074	-0,179	-0,437	0,087	0,302	-0,241	-1,401	-2,041	0,740
Max e Burkhart	D	2,063	-1,144	-1,572	-0,666	0,486	1,549	0,468	-0,400	-0,896	-0,785	0,172	0,598	0,525	-0,072	-0,350	0,020
	SD	2,495	2,177	1,545	1,148	0,986	1,140	0,657	0,786	0,863	0,870	1,037	0,830	1,260	1,211	1,155	1,114
	SSRR	0,236	0,261	0,157	0,095	0,069	0,090	0,037	0,065	0,099	0,125	0,175	0,137	0,548	0,790	1,392	2,166
	RP	0,949	-0,885	-1,117	-0,527	0,291	1,092	0,359	-0,386	-0,915	-0,902	0,045	0,645	0,368	-0,722	-1,691	-1,441
Clark et al.	D	0,929	-1,135	-0,502	0,254	0,642	0,798	-0,367	-0,092	1,026	0,694	0,858	0,628	0,078	-0,746	-0,852	0,528
	SD	2,292	2,175	1,317	1,091	0,999	0,886	0,593	0,697	0,885	0,507	0,977	0,766	1,160	1,180	1,199	1,125
	SSRR	0,214	0,261	0,109	0,080	0,069	0,056	0,032	0,050	0,091	0,038	0,150	0,114	0,547	0,902	1,677	1,837
	RP	0,3276	-0,8800	-0,4169	0,1058	0,4025	0,5470	-0,3093	-0,1113	0,9500	0,7127	0,8747	0,7252	-0,2362	-1,8600	-2,8018	0,1987
		NOTAS															
5° Grau		16	4	16	16	16	12	16	16	9	16	14	5	15	7	13	10
Hradetzky		5	8	4	7	4	4	6	7	4	6	9	10	10	13	8	12
Max e Burkhart		12	16	12	12	8	14	12	12	13	12	7	14	11	7	4	10
Clark et al.		7	12	8	5	12	10	6	5	15	6	10	11	4	13	15	8

TABELA 9 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O AJUSTE DA CLASSE 5, PARA CADA MODELO.

Modelo	Estatística	ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)															
		0	1	2	3	4	5	10	15	25	35	45	55	65	75	85	95
5° Grau	D	3,912	0,658	-1,917	-2,031	-1,578	-1,286	1,077	1,611	0,717	-0,742	-1,213	0,142	1,092	0,381	-1,203	0,506
	SD	1,675	0,861	0,949	0,884	0,751	0,621	0,703	0,750	0,491	0,535	0,658	0,480	0,655	0,554	0,735	0,492
	SSRR	0,092	0,030	0,051	0,046	0,037	0,028	0,034	0,045	0,024	0,039	0,072	0,042	0,096	0,101	0,342	0,203
	RP	0,934	0,146	-0,587	-0,638	-0,517	-0,437	0,369	0,612	0,292	-0,369	-0,652	0,041	0,631	0,200	-1,287	0,475
Hradetzky	D	0,090	0,157	-0,377	-0,120	0,151	0,043	0,230	-0,128	0,033	0,122	-0,195	0,157	0,227	-0,186	-0,684	0,725
	SD	0,822	0,827	0,646	0,462	0,475	0,402	0,584	0,449	0,413	0,462	0,484	0,480	0,520	0,540	0,635	0,528
	SSRR	0,024	0,029	0,023	0,012	0,014	0,011	0,024	0,017	0,017	0,027	0,036	0,042	0,070	0,108	0,245	0,222
	RP	-0,001	0,013	-0,135	-0,050	0,033	0,000	0,063	-0,066	0,000	0,032	-0,130	0,050	0,087	-0,224	-0,794	0,747
Max e Burkhart	D	1,811	-0,684	-1,839	-0,722	0,661	1,460	0,669	-0,630	-0,821	-0,429	-0,315	0,402	0,684	0,295	-0,438	0,012
	SD	1,062	0,861	0,928	0,532	0,533	0,681	0,629	0,504	0,515	0,486	0,493	0,500	0,573	0,547	0,603	0,456
	SSRR	0,037	0,034	0,049	0,017	0,017	0,028	0,027	0,022	0,029	0,032	0,038	0,043	0,078	0,101	0,214	0,203
	RP	0,420	-0,211	-0,564	-0,235	0,195	0,466	0,221	-0,262	-0,364	-0,224	-0,192	0,187	0,375	0,136	-0,561	-0,139
Clark et al.	D	0,452	-0,543	-0,486	0,316	0,642	0,233	-0,398	-0,051	1,595	1,140	0,341	0,334	0,136	-0,395	-0,745	0,541
	SD	0,831	0,844	0,655	0,476	0,529	0,417	0,543	0,546	0,750	0,506	0,522	0,529	0,436	0,622	0,758	0,600
	SSRR	0,024	0,032	0,024	0,012	0,016	0,012	0,022	0,025	0,060	0,032	0,041	0,050	0,048	0,140	0,355	0,318
	RP	0,088	-0,173	-0,167	0,085	0,189	0,062	-0,162	-0,035	0,684	0,532	0,164	0,167	0,061	-0,367	-0,863	0,494
NOTAS																	
5° Grau		16	13	16	16	16	12	16	16	8	14	16	4	16	10	14	8
Hradetzky		5	4	4	4	4	4	6	6	4	4	4	8	8	8	8	14
Max e Burkhart		12	15	12	12	12	16	12	10	12	9	9	14	12	6	4	4
Clark et al.		7	8	8	8	8	8	6	8	16	14	11	14	4	16	14	14

TABELA 10 – CLASSIFICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS DIÂMETROS NAS POSIÇÕES RELATIVAS, AO LONGO DO FUSTE, POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS E AS PORCENTAGENS ALCANÇADAS PARA *Tectona grandis* L.f..

Altura (%)	Classes diamétricas (cm)					Total
	1	2	3	4	5	
0	C-H	H-C	C	H	H	H
1	H	H	Q	H	H	H-Q
2	H	C	C	H	H	H
3	C	H	C	C	H	M
4	H	H	C	H	H	Q
5	H	H	C-H	H	H	H
10	C	C	C	H-M	H-C	C-Q
15	C-H	C	C	C	H	C
25	C	C	H	H	H	H
35	C	M	M	H-C	H	H
45	H	H-C	Q	M	H	H
55	Q	C	C	Q	Q	C
65	C	M	M	C	C	C-H
75	H	H	Q	M-Q	M	M
85	H	H	H	M	M	H
95	M	H	C	C	M	M
Q	6,25%	0,00%	18,75%	9,37%	6,25%	12,50%
H	50,00%	50,00%	15,62%	43,75%	65,63%	53,12%
M	6,25%	12,50%	12,50%	18,75%	18,75%	15,62%
C	37,50%	37,50%	53,12%	28,12%	9,37%	18,75%

Modelos: Q – Quinto Grau; H – Hradetzky 1976; M – Max e Burkhart 1976 e C – Clark et al. 1991.

Os perfis médios reais e estimados para o conjunto total dos dados para os quatro modelos testados são observados na FIGURA 8.

A equação de Hradetzky foi a que propiciou a melhor estimativa do perfil médio ao longo de todas as alturas relativas. Já a equação do Quinto Grau mostrou tendências ao estimar os diâmetros na porção inferior dos fustes, ora superestimando, ora subestimando. A equação de Clark et al. mostrou tendência a subestimar os diâmetros a 95% da altura total e a equação de Max e Burkhart subestima os diâmetros a 5% da altura total.

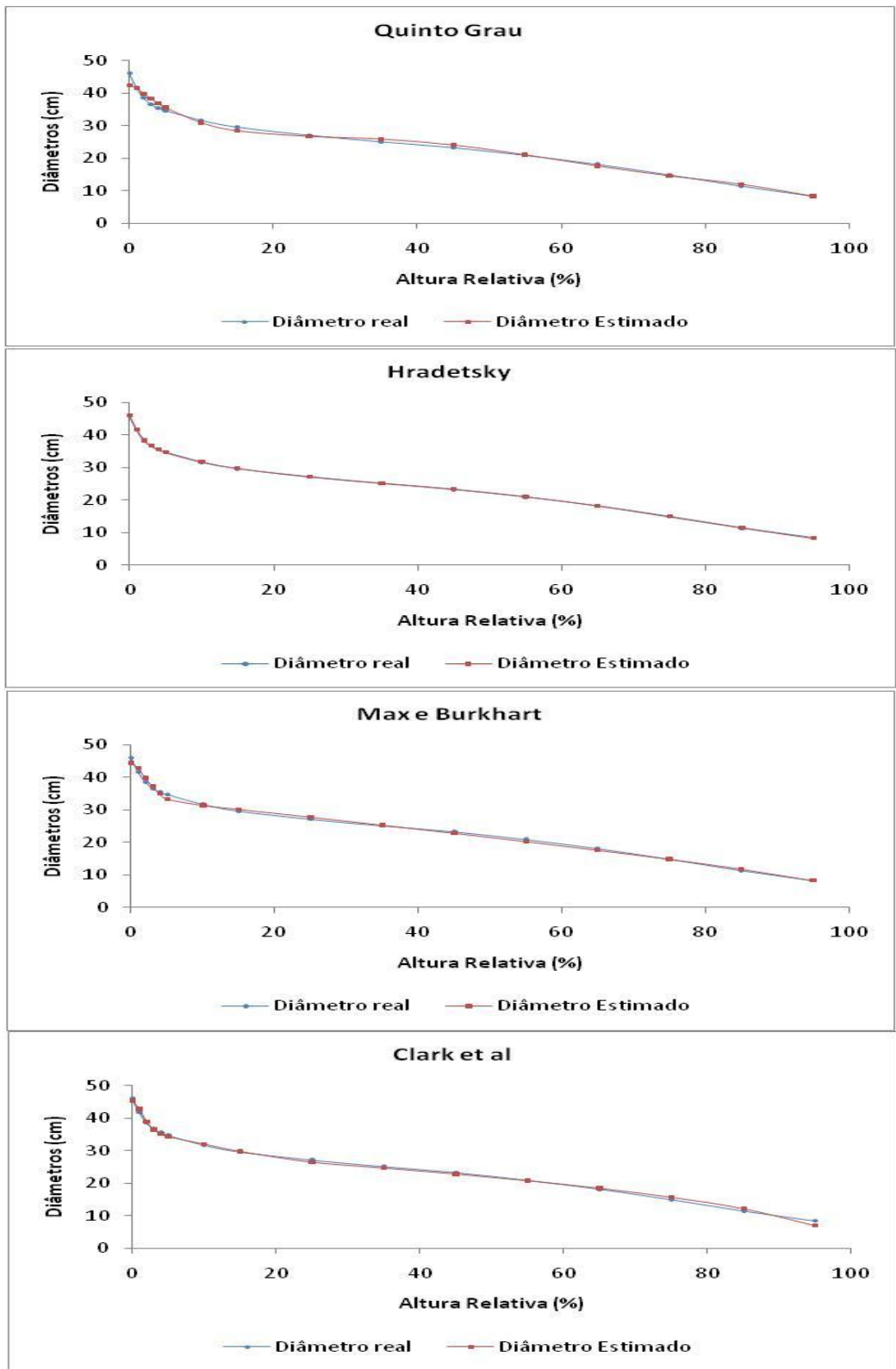


FIGURA 8 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

Para o ajuste por classe diamétrica a equação de Hradetzky foi a que melhor estimou os perfis médios para todas as classes, visto que as outras equações mostram tendências a subestimar ou superestimar o perfil em algumas alturas relativas (FIGURAS 9, 10, 11, 12, 13 no ANEXO). Trabalhos apresentados por Conceição (2004) e Souza (2005) com *Eucalyptus* spp., e os de Fischer et al. (1998), Assis et al. (2002) e Machado et al. (2004) com *Pinus* spp. concluíram que a equação de Hradetzky é a que melhor estima o perfil médio dos diâmetros ao longo do fuste.

#### 4. CONCLUSÕES

O modelo que propicia as melhores equações para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L.f., para o conjunto total dos dados e para as classes de diâmetro, é o proposto por Hradetzky 1976, exceto para Classe 3, DAP de 31,51 a 35,70 cm, onde o modelo de Clark et al. 1991 é o mais adequado.

Os dois modelos selecionados descrevem com acurácia os diâmetros na base dos fustes onde se encontram as maiores irregularidades.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1, p.20-40, 2001.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.89-107, 2002.

BRASIL. **Folha SD.21 – Juruena: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia, 1980. 464p. (Levantamento dos recursos naturais, 20).

CAMPELO JÚNIOR, J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7, 1991, Londrina, **Anais...** Londrina, v. 1

CLARK III, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for Southern tree species**. USDA: Southeastern /forest Experiment Station, 1991. 113p.

CONCEIÇÃO, M. B. **Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill Ex – Maiden**. 2004. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in southern Brazil. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v.83, n.1/2, p.36-46, 1996.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. **Acta Amazonica**, v. 36, n.4, p.465-482, 2006.

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 - MG.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.167-188, 1998.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forshungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p.

LEITE, H. G.; GAMA, J. R. V.; CRUZ, J. P., SOUZA, A. L. Função de afilamento para *Virola surinamensis* (Roll.) Warb. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v.30, n.1, p.99-106. 2006.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO A. **Dendrometria**, 2 ed., Guarapuava: Unicentro, 2006. p.316.

MACHADO, S. A.; URBANO, U.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FIGUEIREDO, D. J. Comparação de modelos de afilamento do tronco para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa* Shceide. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, PR. N.48, p. 41-64. Jan 2004.

MAX, T. A.; BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Washington, v.22, n.3, p.283-289, sept, 1976.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F. **Mensura Forestal**. San José, Costa Rica: IICA, 1997. 586p

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. 134p. (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

R - A LANGUAGE AND ENVIROMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. **R for Windows 2.13.1**. Vienna: Austria. 2002. Disponível em: <<http://www.r-project.org/index.html>>. Acesso em: 22 Jan. 2011.

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

SCHÖEPFER,W. 1966. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestande Schriftenreihe Bad**. [S.l.]: Wurt-Forstl., Não paginado.

SEPALN - Secretaria de Estado e Planejamento. **Mapa de solos do estado de Mato Grosso – 001**. Cuiabá: SEPLAN/MT, 2001. 1p. Disponível em: <<http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/mapaspdf/>>. Acesso em: 22 Jul. 2011.

SOUZA, A. N. **Crescimento, produção e análise econômica de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. em sistemas agroflorestais.** 203p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais. 2005.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de *Taper* não-segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo – Espírito Santo. 2007.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação.** Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul. 2009.



## ANEXO

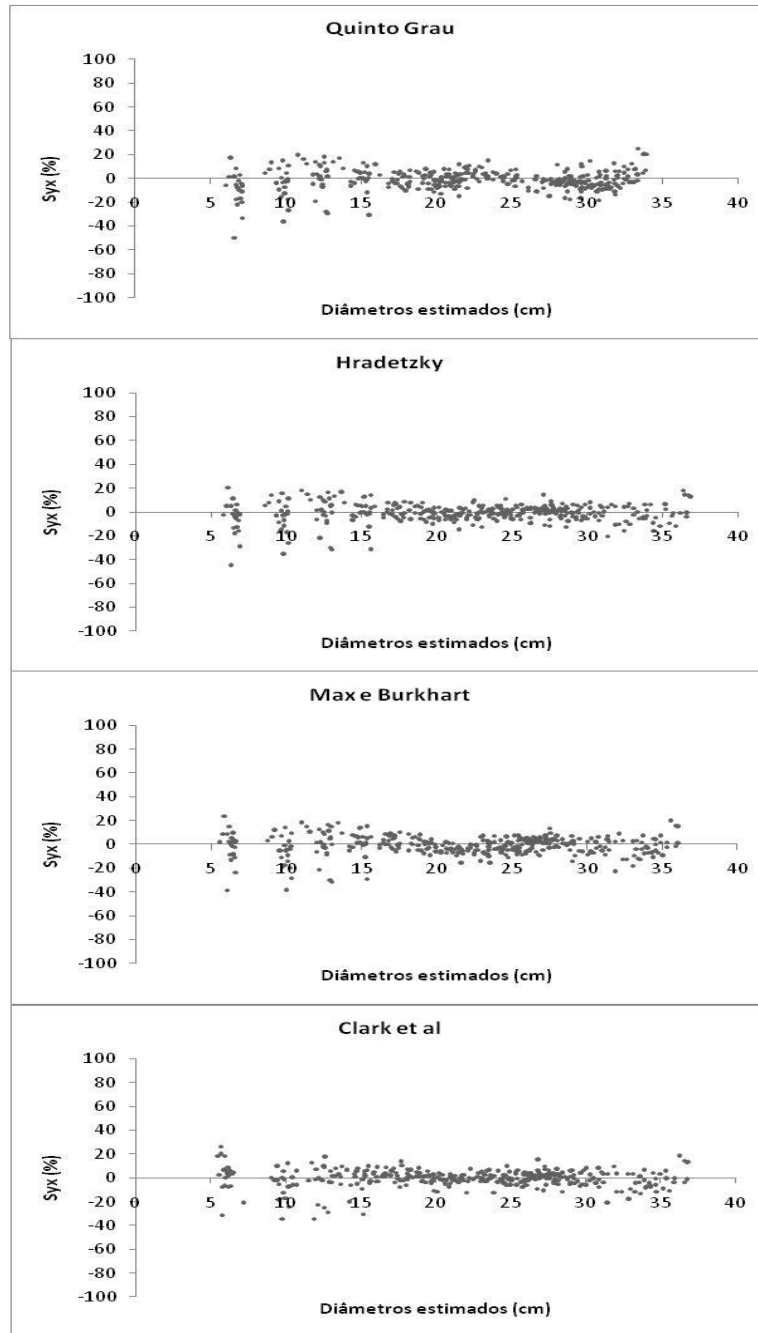


FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA A CLASSE 1, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

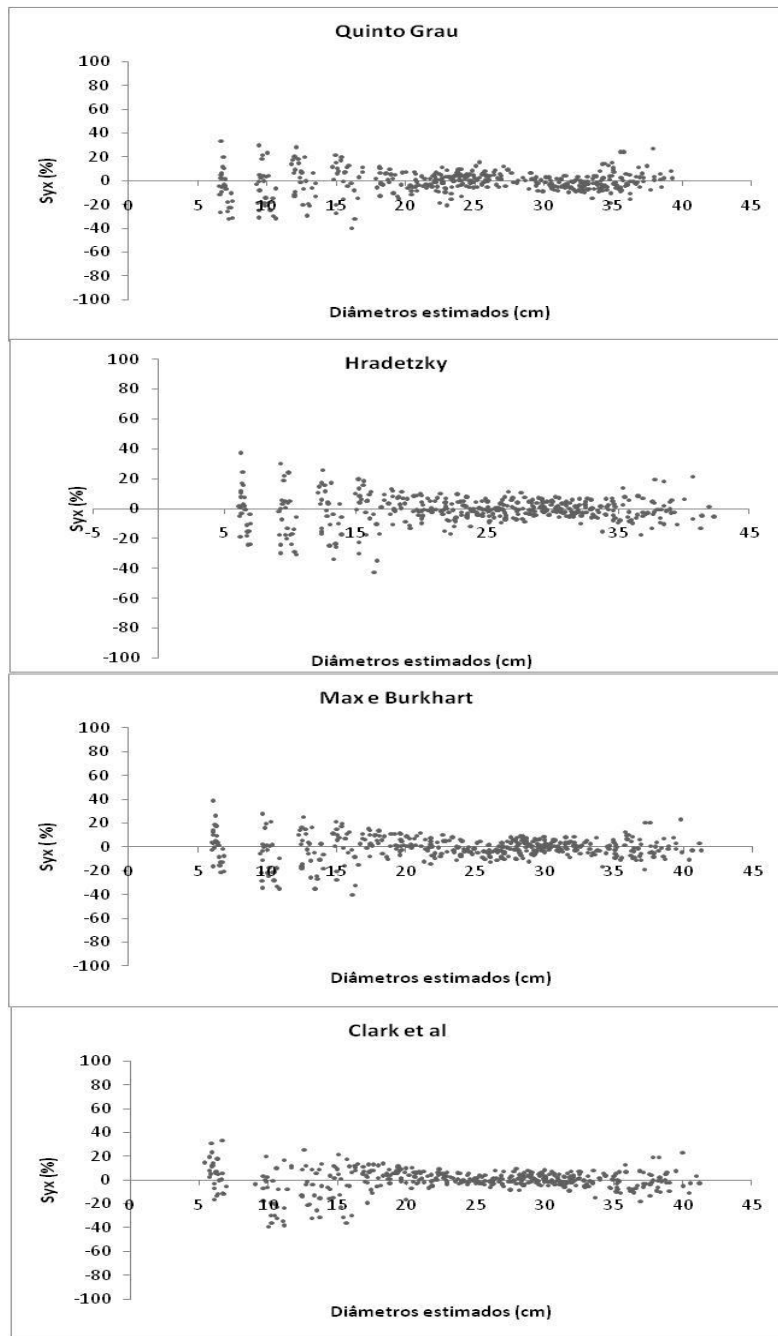


FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA A CLASSE 2, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

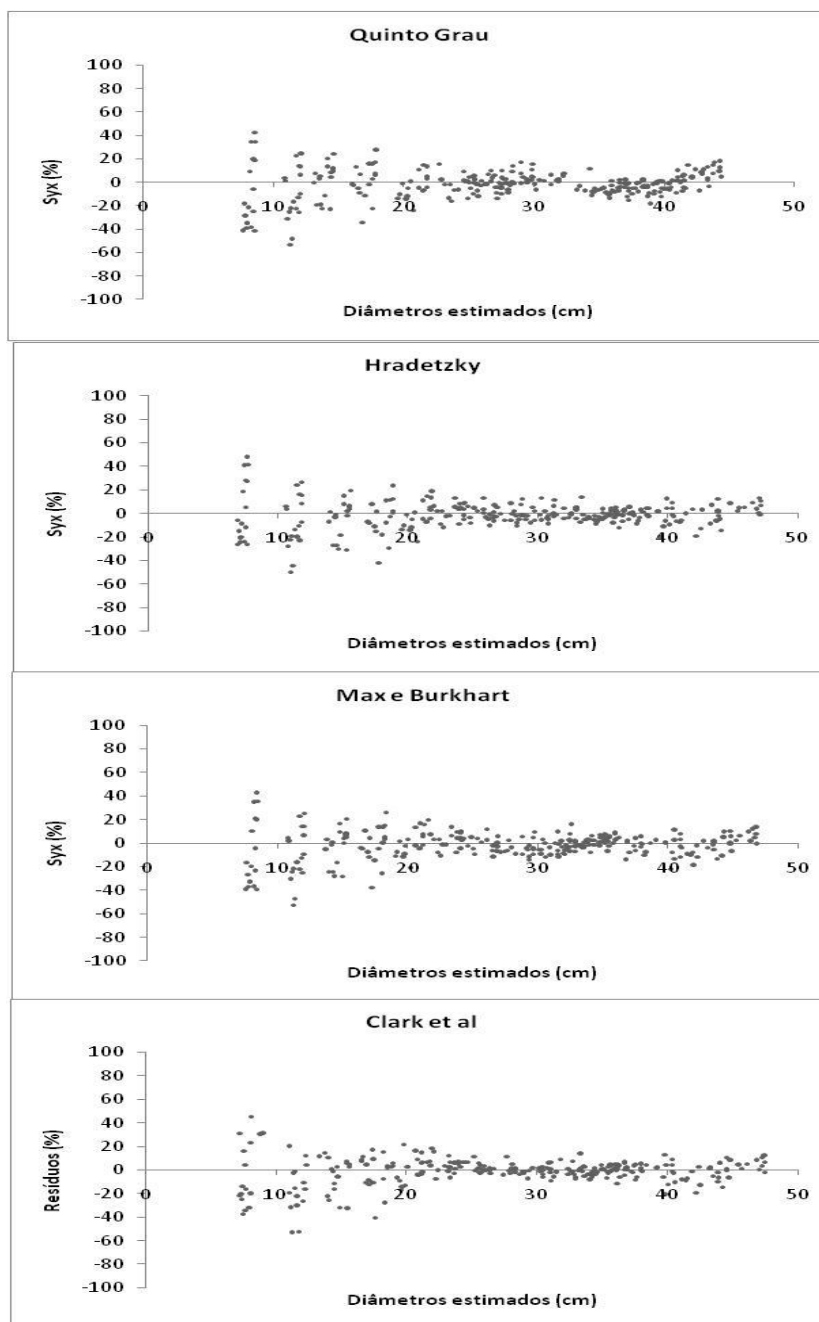


FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA A CLASSE 3, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

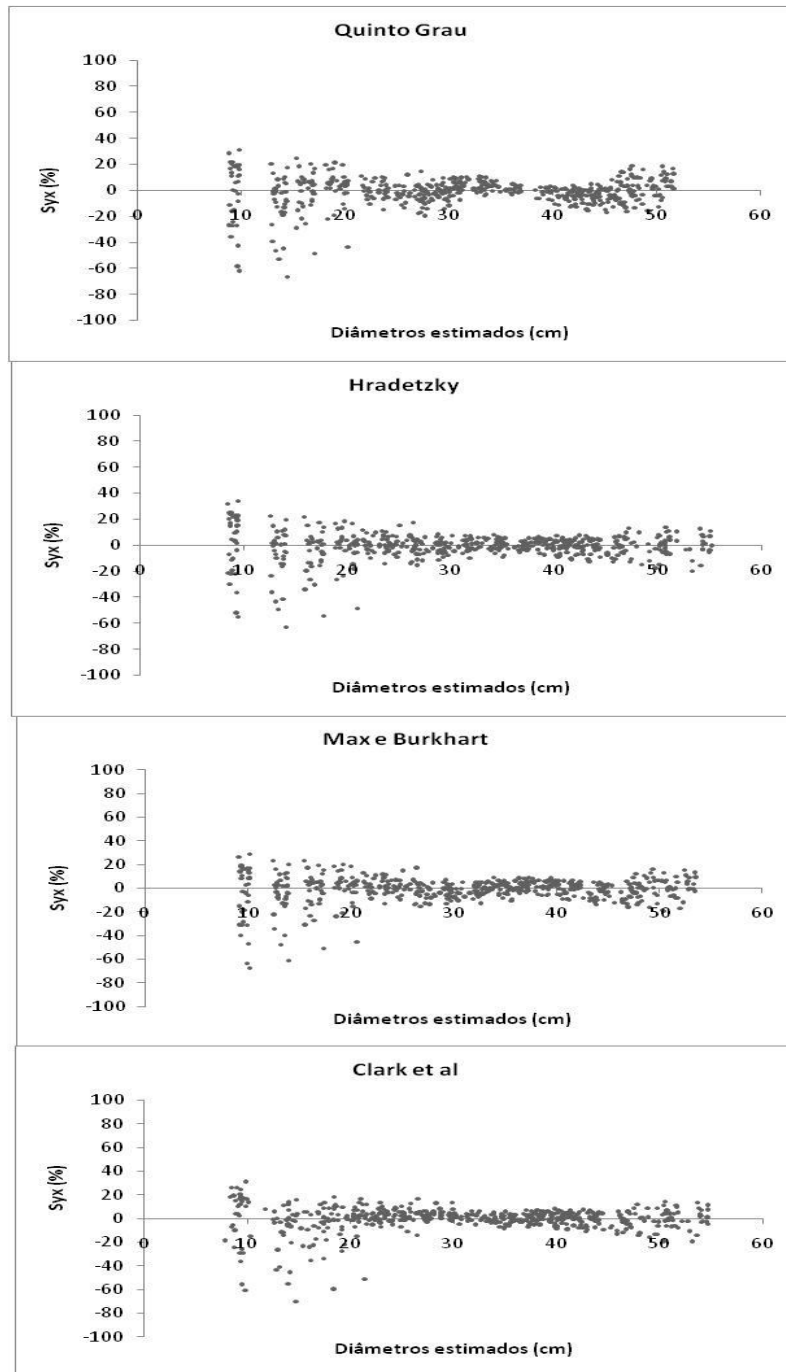


FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA A CLASSE 4, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

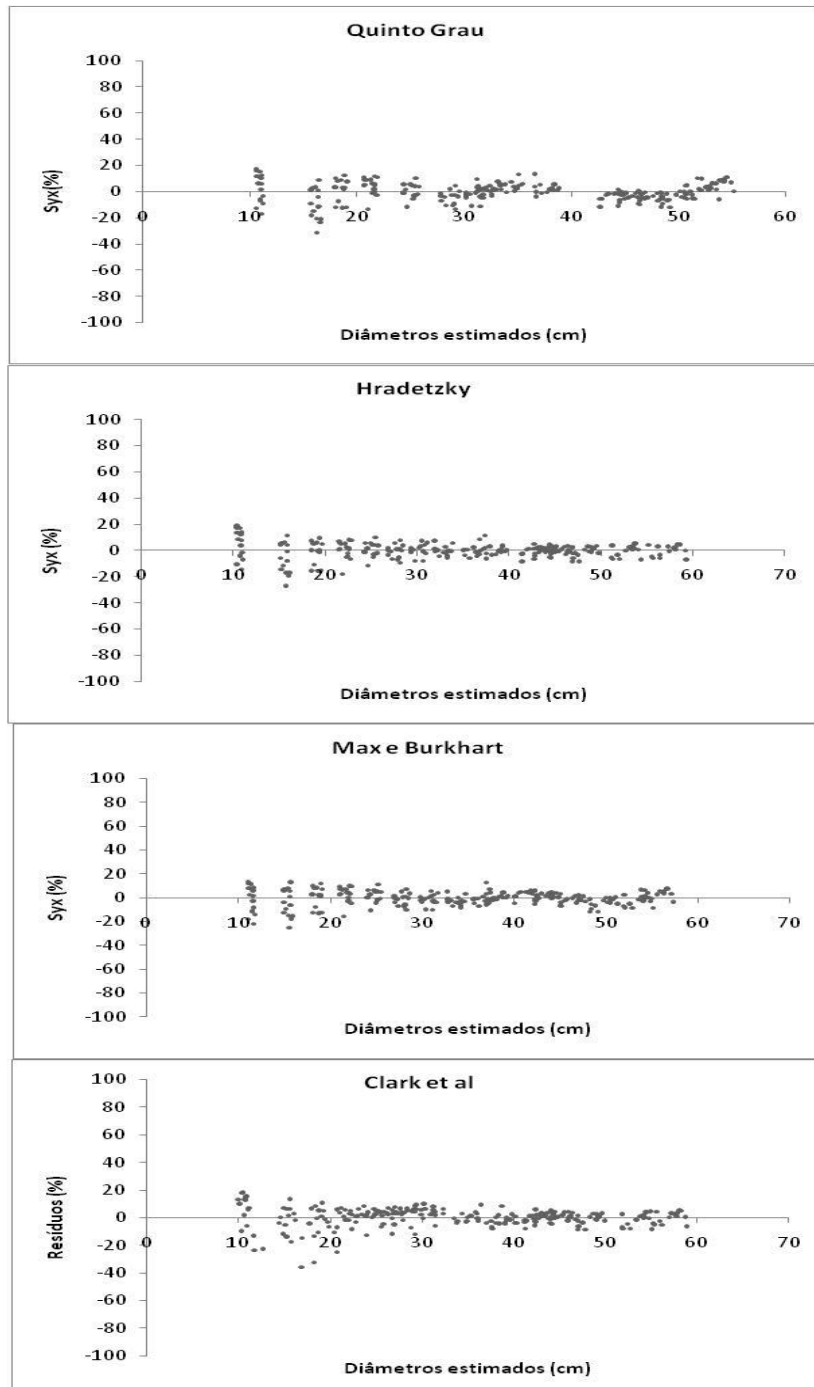


FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DOS DIÂMETROS ESTIMADOS PARA A CLASSE 5, PARA OS MODELOS TESTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

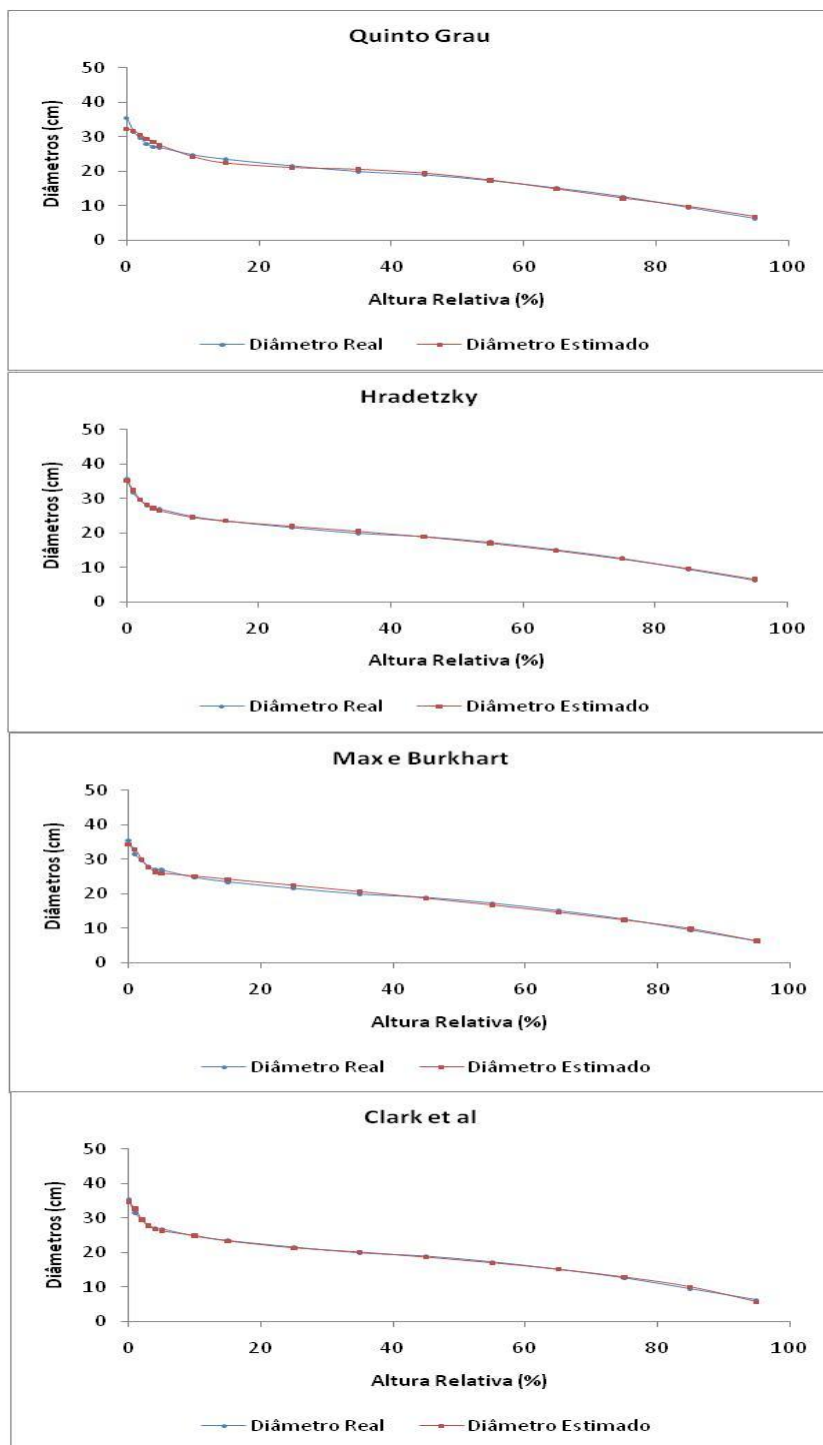


FIGURA 9 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS, PARA A CLASSE 1, PARA *Tectona grandis* L.f.

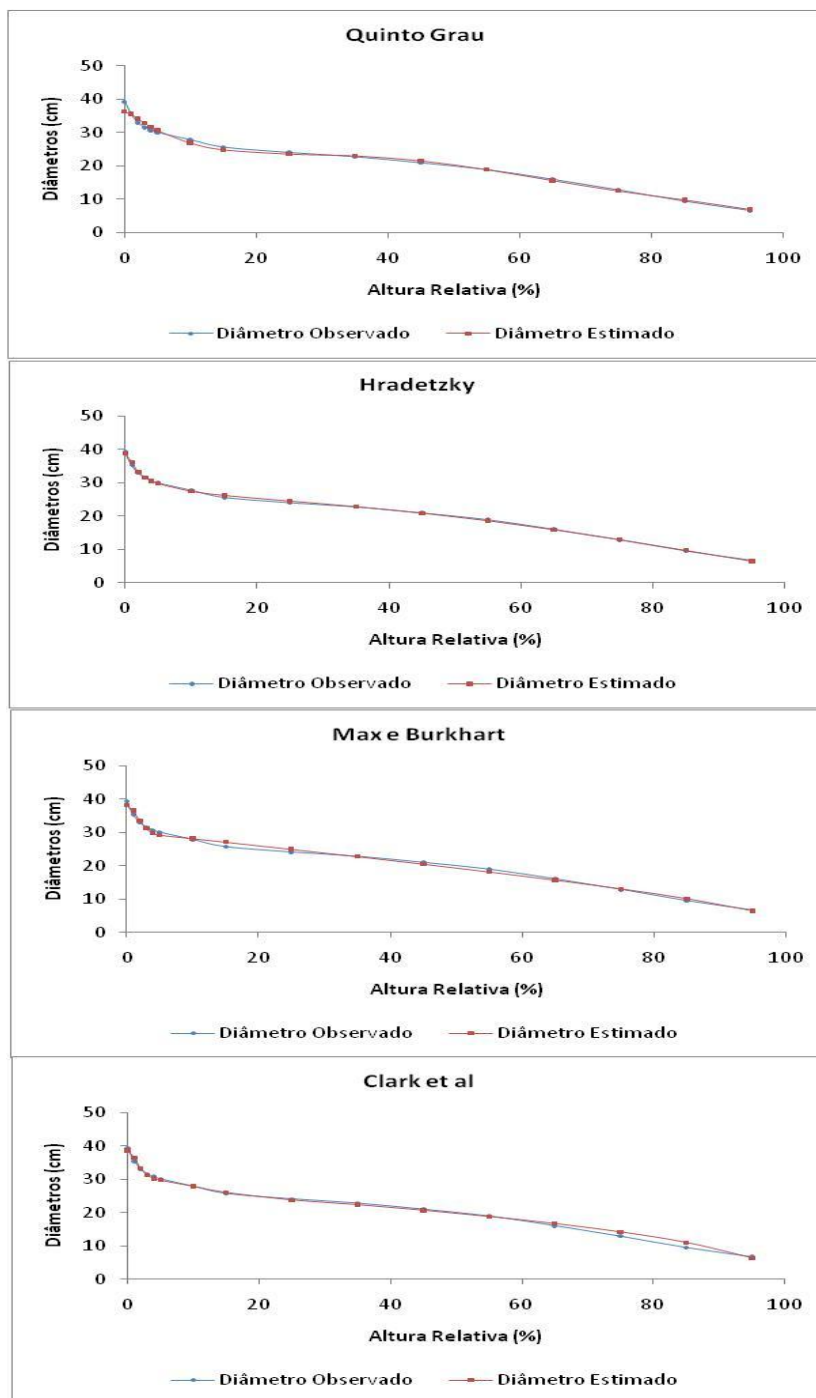


FIGURA 10 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS, PARA A CLASSE 2, PARA *Tectona grandis* L.f.

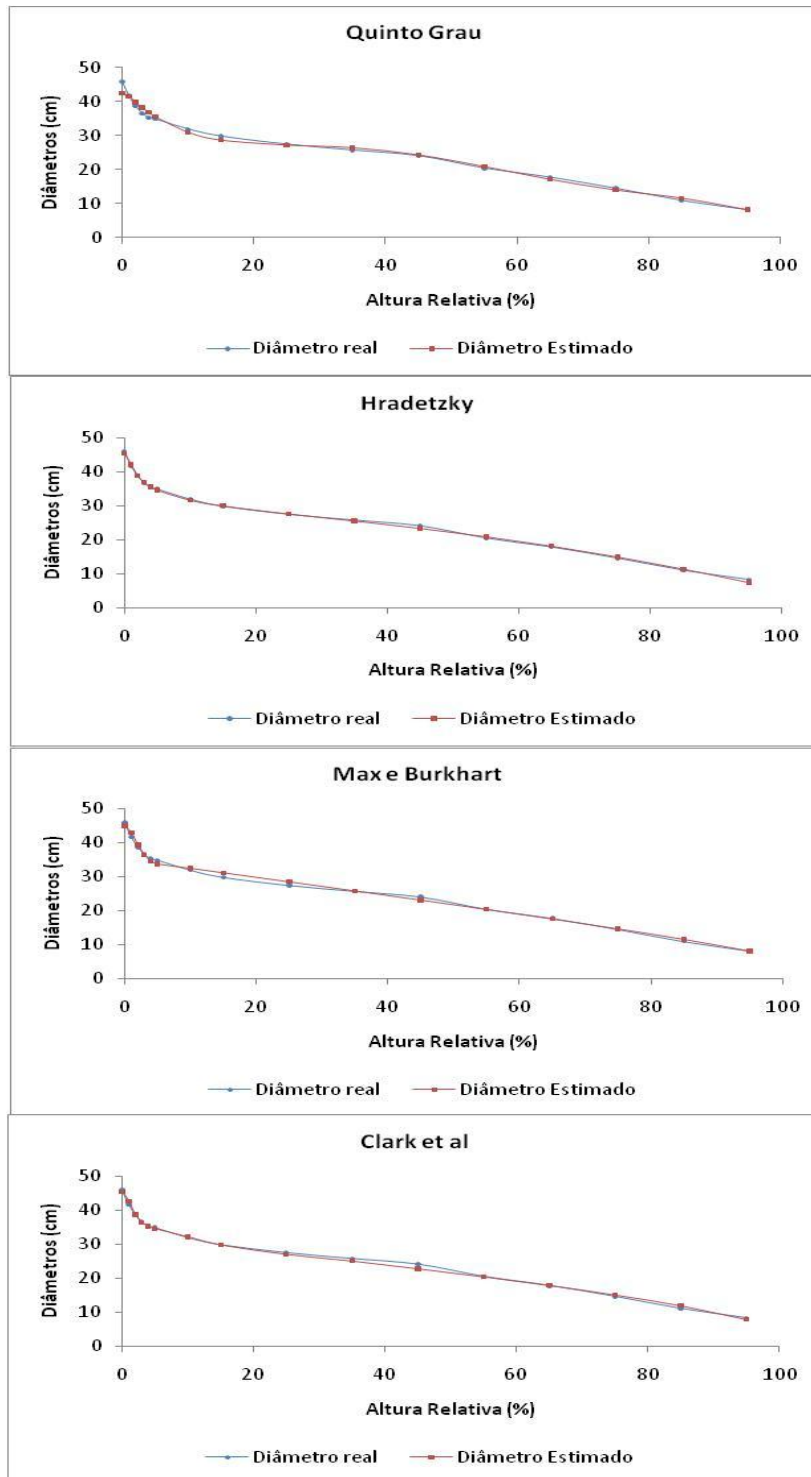


FIGURA 11 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS, PARA A CLASSE 3, PARA *Tectona grandis* L.f.



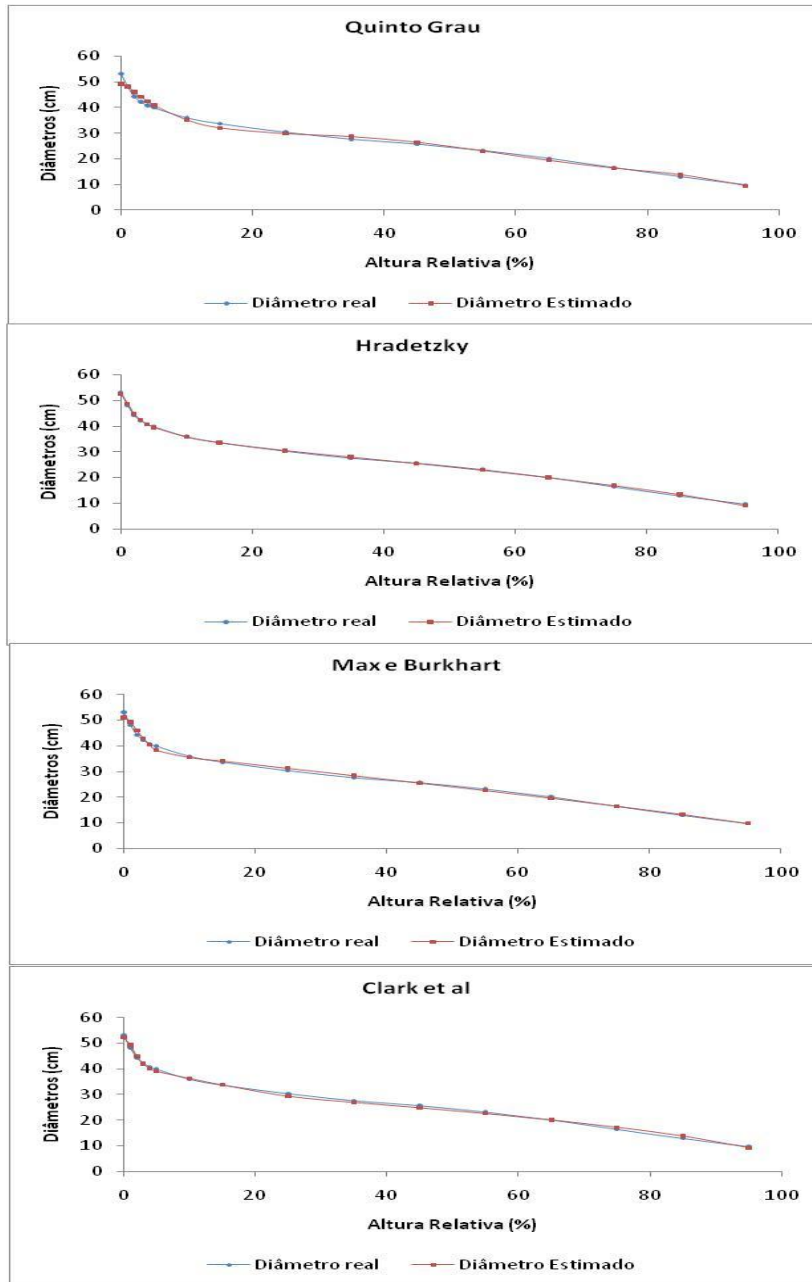


FIGURA 12 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS, PARA A CLASSE 4, PARA *Tectona grandis* L.f.

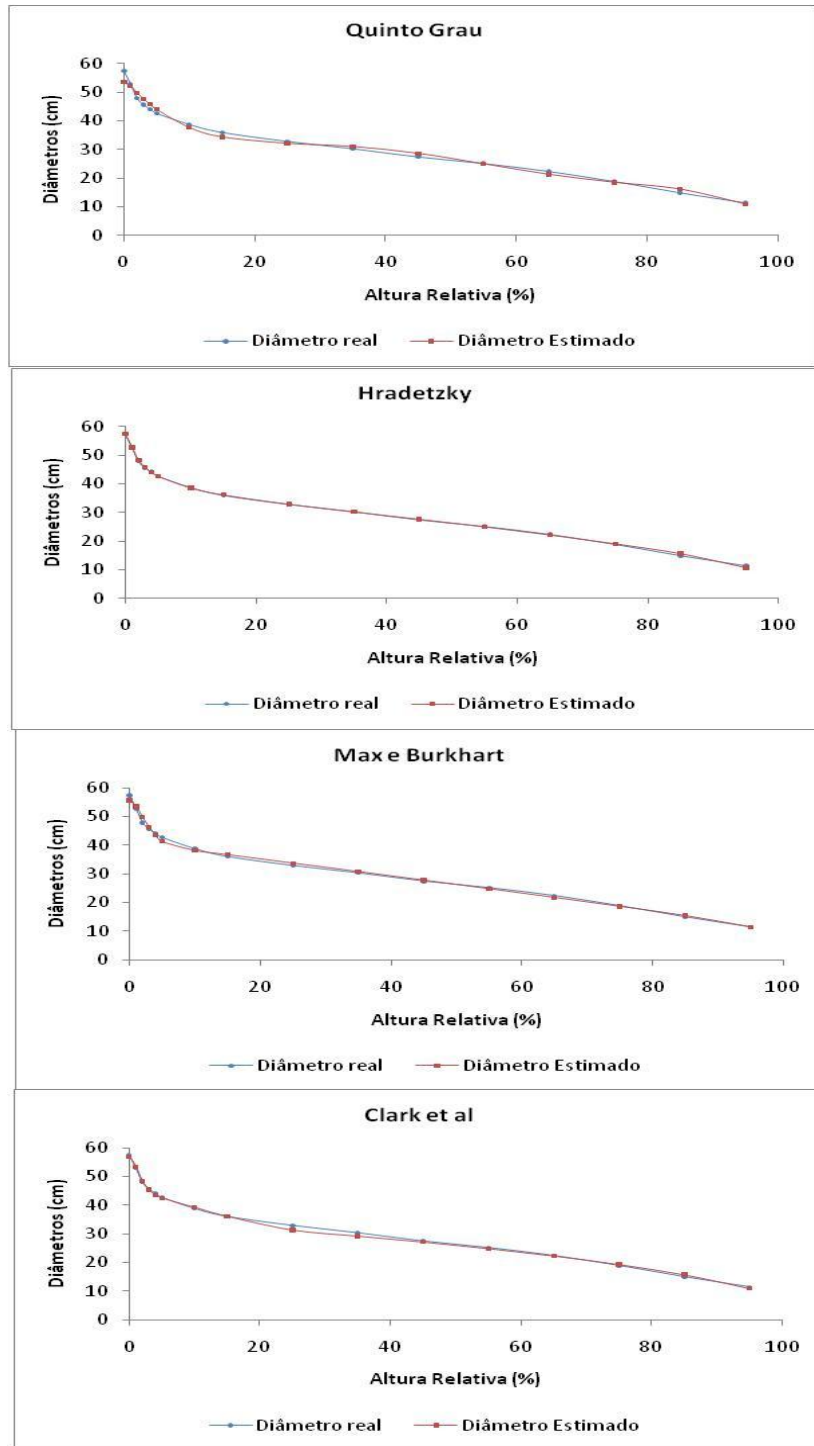


FIGURA 13 – PERFIS MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS, PARA A CLASSE 5, PARA *Tectona grandis* L.f.

## CAPITULO 02

### FUNÇÕES DE AFILAMENTO SEGMENTADAS E NÃO SEGMENTADAS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* L. f. NO MUNICÍPIO DE ROSÁRIO OESTE – MT.

#### RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* L.f. numa propriedade no município de Rosário Oeste, estado de Mato Grosso. O objetivo do estudo foi comparar a acurácia das estimativas dos volumes ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f. propiciadas por ajustes de modelos polinomiais segmentados e não segmentados, para o conjunto total dos dados e por classes diamétricas. A base de dados foi composta por 114 árvores de *Tectona grandis* L. f., distribuídas em classes de diâmetro em função do desvio padrão. A cubagem foi realizada pela metodologia de Hohenadl modificada, e os volumes foram calculados pela fórmula de Huber. Os modelos não segmentados testados foram o do Quinto Grau e o de Haradetzky de 1976 e os modelos segmentados, foram o de Max e Burkhart de 1976 e de Clark et al. de 1991. O ajuste dos modelos foi avaliado em função do Coeficiente de Determinação Corrigido, Erro Padrão da Estimativa e pela Distribuição Gráfica dos Resíduos (%). A acuracidade dos modelos foi avaliada pelo Desvio, Desvio Padrão das Diferenças, Somatório de Quadrado dos Resíduos Relativos e a Porcentagem dos Resíduos, que permitiram uma avaliação mais detalhada das estimativas volumétricas ao longo dos fustes. A partir dessas estatísticas complementares foi elaborado uma classificação para detectar o modelo que propiciou as melhores estimativas dos volumes ao longo do fuste. A equação do Quinto grau é a mais acurada na estimativa dos volumes ao longo dos fustes de *Tectona grandis* L.f para o conjunto total dos dados e para Classes 2 e 3, faixa de DAP 27,21 a 35,70 cm, enquanto a equação de Max e Burkhart é a mais acurada para Classe 1 faixa de DAP de 22,90 a 27,20 cm, e a equação de Hradetzky para as classe 4 e 5, faixa de DAP de 35,71 a 44 cm. A equação de Max e Burkhart estima com acurácia os volumes da base dos fustes para todas as classes e para o conjunto total dos dados.

**Palavras chave:** teca, classe diamétrica, Hohenadl, sortimento.

## CHAPTER 02

### SEGMENTED AND NON SEGMENTED TAPER FUNCTIONS TO ESTIMATE OF VOLUMES OVER THE STEM ON STANDS OF *Tectona grandis* L. f. IN ROSÁRIO OESTE - MT.

#### ABSTRACT

This study was conducted in a stand of *Tectona grandis* L.f. a property in the city of Rosario Oeste, Mato Grosso. The aim of the was to compare the accuracy of estimates of the volumes along the bole of *Tectona grandis* L. f. offered by adjustments of non-segmented and segmented polynomial models, for all of data and by diameter classes. The database consisted of 114 trees of *Tectona grandis* L. f. distributed among diameter classes according to the standard deviation. The tree scaling was performed by the modified Hohenadl methodology, and the volumes were calculated by the Huber's formula. The non-segmented models tested were the Fifth Degree and Hradetzky 1976, and the segmented models were the Max and Burkhart 1976, and Clark et al. 1991. The fit of the models was evaluated according to the Fixed Coefficient of Determination, Standard Error of Estimate and residuals distribution (%). The accuracy of the models along the stem was evaluated by the Deviation, the Standard Deviations of Differences, Sum of Squares of Relative Residues and Percentage of Residues, which allowed a more detailed assessment of volumetric estimates along the stems. From these statistics a further classification was developed to detect the model provided the best estimates of the volumes along the bole. The equation of Fifth Degree is the most accurate estimate of the volumes along the bole of *Tectona grandis* L.f. for all full data and Classes 2 and 3, DBH range from 27.21 to 35.70 cm, while the equation Max and Burkhart's the most accurate range for Class 1 , range from 22,90 to 20 cm DBH, and the Hradetzky equation for classes 4 and 5, DBH range from 35.71 to 44 cm. The Max and Burkhart equation accurately estimated the volumes of the base of stems for all classes and the total set of data.

**Keywords:** teak, diameter class, Hohenadl, assortment.

## 1. INTRODUÇÃO

A variável mais importante para o conhecimento das potencialidades quantitativas de uma floresta e o planejamento de sua utilização é, sem dúvida, o volume de madeira por ela apresentado.

O diagnóstico dos volumes, seja ele para uma espécie ou para o conjunto das espécies que vegetam num determinado ambiente é determinado através de variáveis a ele associadas, como os diâmetros, as alturas e a forma dessas árvores no povoamento. Dessa forma, o perfeito conhecimento de como variam essas variáveis determinam a exatidão com que os volumes se apresentam, o que resulta no nível de qualidade do planejamento executado e, como consequência, no sucesso do empreendimento.

Com a necessidade de informações mais detalhadas sobre os povoamentos florestais, os inventários tornaram-se mais complexos e passaram a informar muitos detalhes adicionais, do que simplesmente o volume de madeira existente na floresta. Em função da demanda por multiprodutos da madeira, diversificaram-se as informações dos diferentes tipos de volumes resultantes do inventário, como: o volume total, o volume comercial e os volumes comerciais para fins específicos (PÉLLICO NETO e BRENA, 1997).

Atualmente, com o constante aprimoramento de técnicas de medição florestal, associadas à informática e à automação, a indústria de transformação madeireira tem experimentado grandes avanços no recebimento da matéria prima básica, notadamente nas corretas dimensões das toras a serem transformadas em multiprodutos, adequados aos diversos usos da madeira. A obtenção dos volumes associados às equações de afilamento é a forma mais atual de determinar os volumes compatíveis com as diversas formas apresentadas ao longo dos troncos das árvores e seu total aproveitamento para os diversos subprodutos.

Nesse contexto o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de comparar a acurácia das estimativas dos volumes parciais em diferentes

alturas dos fustes das árvores para modelos de afilamento segmentados e não segmentados, para o conjunto total dos dados e por classes diamétricas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em um povoamento de *Tectona grandis* L.f. no município de Rosário Oeste, Estado de Mato Grosso, em uma área circunscrita a um ponto central com a coordenada geográfica 56° 32' 47,47" W e 15° 02' 43,96" S, a 192 metros de altitude (FIGURA 2).

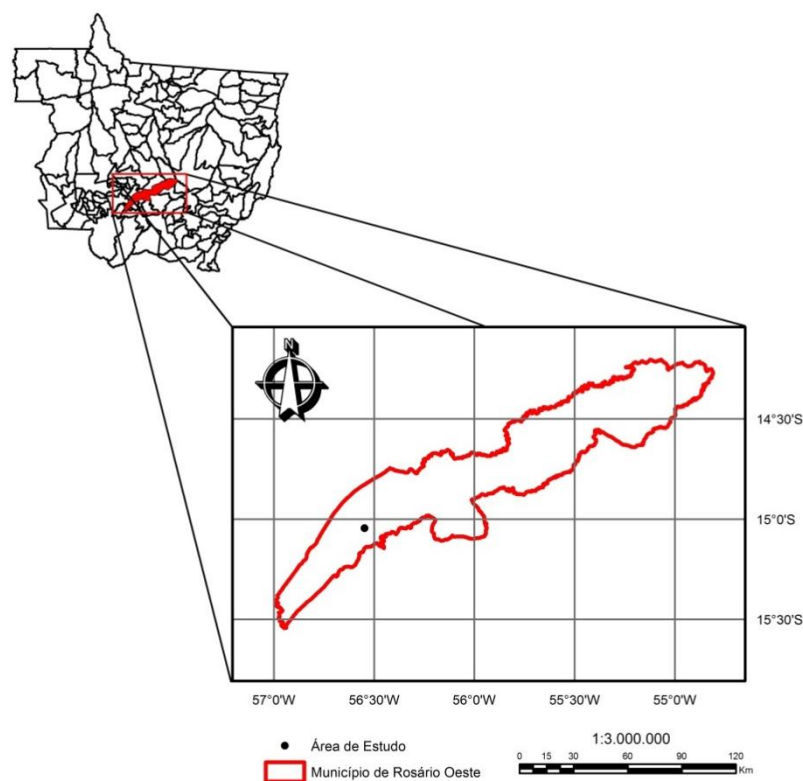


FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região onde os povoamentos se encontram possui características de clima do tipo Aw (Clima Tropical de estação seca), conforme a classificação de Köppen. Segundo Campelo Júnior et al. (1991), a temperatura é mais elevada na Baixada Cuiabana, no período entre o final de outubro até o início de abril, alcançando temperatura média igual ou superior a 30°C entre 24 de setembro e

11 de outubro. Entre 09 de maio e 05 de setembro ocorrem as temperaturas médias inferiores a 20°C. A precipitação média anual é de 1346,9 mm e a umidade relativa média anual de 73%.

A área de estudo é caracterizada como Depressão do Rio Paraguai (Epi), formado por pediplano inundado, com superfície de aplanamento elaborado por processos de pediplanação, posteriormente recobertos por sedimentos quaternários. Dentro desta unidade, ocorre a subunidade Depressão Cuiabana, localizada na extremidade sudoeste do estado, apresentando um relevo plano, que foi modelado em litologias do Grupo Cuiabá e se apresenta encoberto por material argilo-arenoso, com ocorrências de horizontes concrecionários. Essa área é abrangida pela formação geológica denominada Formação Pantanal (BRASIL, 1980).

O solo da região é predominante do tipo Concrecionário Câmbico Álico (SCCa), caracterizado por ser solo mineral, bem drenado, de profundidade mediana, com presença de concreções de ferro ao longo do perfil em quantidade maior que 50% do volume (SEPLAN, 2001).

## 2.2 Obtenção dos dados de campo

Para o ajuste das equações previstas neste trabalho, foi efetuada a cubagem rigorosa de 114 árvores, de um povoamento com 16 anos de idade, submetido a dois desbastes, e as árvores foram distribuídas em cinco classes de diâmetro, cuja amplitude foi estabelecida com base no desvio padrão do DAP.

A cubagem de 114 árvores foi efetuada pelo método de Hohenadl modificado, sendo que para 60 árvores foi utilizado o método destrutivo, com o seu abate e outras 14 árvores foram cubadas em pé, com o auxílio da técnica de rapel. As 40 árvores restantes foram cubadas com o aparelho "Criterion". A indicação da eficiência do uso deste aparelho foi atestada por Machado e Figueiredo Filho (2006), que citaram as pesquisas realizadas por Liu et al.



(1993)<sup>5</sup> e Labau (1991)<sup>6</sup>. No entanto, estas mesmas pesquisas revelaram baixa exatidão na medição de alturas, notadamente quando os registros são efetuados a pequenas distâncias da árvore, ou quando há necessidade de inclinar o instrumento acima de 50°. No presente estudo estes critérios foram considerados para evitar essas fontes de erros não amostrais.

Os diâmetros reais foram determinados pelo método de Hohenadl modificado, como utilizado por Assis et al. (2001), Souza (2007), em todas as 114 árvores, tomando-se as medidas dos diâmetros relativos a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total das árvores. Para a medição dos diâmetros, em campo, foi utilizada uma suta para medição dos diâmetros e uma trena para medição da altura. A altura total foi tomada onde o ápice do fuste mediu 5 cm de diâmetro.

Os ajustes dos modelos foram feitos considerando os diâmetros a 1,3 metros do solo (DAP) com casca, e os diâmetros nas alturas relativas explicitadas anteriormente.

A intensidade amostral por classe diamétrica foi determinada pela variação dos volumes, considerando um limite de erro máximo de 10% a uma probabilidade de confiança de 95% (TABELA 1).

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L.f. CUBADAS NAS DIFERENTES CLASSES DE DIÂMETRO

N ° da Classe	Faixa de DAP (cm)	Frequência
1	22,90 - 27,20	22
2	27,21 - 31,50	26
3	31,51 - 35,70	17
4	35,71 - 40,00	33
5	40,10 - 44,00	16
Total		114

<sup>5</sup> LIU, C. J.; HUANG, X.; EICHEMBERGER, J. K. Using laser technology for measuring trees. In: MODERN METHODS OF ESTIMATING TREE AND LOG VOLUME. IUFRO Conference 14-16. 1993. **Anais...** West Virginia University Publication Services, 1993. 13p.

<sup>6</sup> LABAU, V. J.; Tree height measurement indicator study: performance of leaser height finder. FY 92 Forest Health Monitoring Western Pilot Operations Report. **Forest Research Station**, 15p. 1991.

A determinação dos volumes reais foi realizada método de Huber modificado em todas as 114 árvores, tomando-se as medidas dos diâmetros relativos a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total das árvores. A seguir se apresenta a fórmula de cubagem rigorosa utilizada:

$$V_t = \sum_1^n (g_m * l)_n$$

Em que:

$V_t$  = volume total da árvore considerada ( $m^3$ );

$g_m$  = Área seccional do centro da seção ( $m^2$ );

$l$  = comprimento da seção (m);

$n$  = número de seções.

Os ajustes dos modelos foram feitos considerando os diâmetros com casca a 1,3 metros do solo (DAP), nas alturas relativas do fuste das árvores a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% e, finalmente, na altura total tomada junto ao diâmetro do fuste igual a 5 cm.

Foram ajustados os modelos não segmentados do Quinto Grau proposto por Schöepfer (1966) e Hradetzky (1976), e os modelos segmentados de Max e Burkhart (1976) e Clark III et al. (1991). Após a obtenção das equações de afilamento foi realizada a integração das mesmas para obtenção de suas respectivas equações para estimar os volumes totais das árvores e dos sortimentos.

### 2.3 Equações de volume desenvolvidas para as funções de afilamento

Os volumes ( $v$ ) dos sólidos de revolução foram obtidos pela integração de suas áreas seccionais ( $g_i$ ) dos fustes, entre o limite inferior ( $h_1$ ) e o superior ( $h_2$ ) que foram estabelecidos. Quando se desejava obter o volume total de uma árvore, então para  $h_1$  foi atribuído o valor zero (0) e o valor de  $h_2$

era igual a altura total da árvore. A fórmula reduzida de representação para a integração dos volumes é mostrada a seguir:

$$v = \int_{h_1}^{h_2} g_i \delta H \rightarrow v = \int_{h_1}^{h_2} \frac{\pi * d_i^2}{40000} \delta H \rightarrow v = k \int_{h_1}^{h_2} d_i^2 \delta H \quad (1)$$

em que:

$$k = \pi / 40000;$$

$d_i$  = diâmetro correspondente a qualquer altura  $h_i$ , ao longo do fuste da árvore.

2.3.1 Integração dos volumes aplicada ao modelo não segmentado do Quinto Grau 1966:

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

Para integrar a função e obter a expressão que permite a estimativa dos volumes, foi realizada a simplificação:

$$C_0 = \beta_0 ; \quad C_1 = \frac{\beta_1}{h} ; \quad C_2 = \frac{\beta_2}{h^2} ; \quad C_3 = \frac{\beta_3}{h^3} ; \quad C_4 = \frac{\beta_4}{h^4} ; \quad C_5 = \frac{\beta_5}{h^5}$$

Após a simplificação, a expressão (2) assume a forma:

$$d_i = D \left( c_0 + c_1 h_i + c_2 h_i^2 + c_3 h_i^3 + c_4 h_i^4 + c_5 h_i^5 \right) + e_i \quad (3)$$

Substituindo (3) em (1), tem-se:

$$v = k * D^2 * \int_{h_1}^{h_2} \left( c_0 + c_1 h_i + c_2 h_i^2 + c_3 h_i^3 + c_4 h_i^4 + c_5 h_i^5 \right)^2 \delta h_i \quad (4)$$

Integrando (4), é obtida a expressão que propicia a obtenção do volume correspondente a qualquer porção da árvore, além do volume total:

$$V = K * D^2 * \left[ \frac{1}{11} c_5^2 h_i^{11} + \frac{1}{5} c_4 c_5 h_i^{10} + \frac{1}{9} (2c_5 c_3 + c_4^2) h_i^9 + \frac{1}{8} (2c_3 c_4 + 2c_5 c_2) h_i^8 + \frac{1}{7} (2c_2 c_4 + 2c_5 c_1 + c_3^2) h_i^7 + \frac{1}{6} (2c_1 c_4 + 2c_3 c_2 + 2c_5 c_0) h_i^6 + \frac{1}{5} (c_2^2 + 2c_4 c_0 + 2c_1 c_3) h_i^5 + \frac{1}{4} (2c_3 c_0 + 2c_1 c_2) h_i^4 + \frac{1}{3} (c_1^2 + 2c_2 c_0) h_i^3 + c_0 c_1 h_i^2 + c_0^2 h_i \right]_{h_1}^{h_2}$$

2.3.2 Integração dos volumes aplicada ao modelo não segmentado de Hradetzky 1976:

$$d_i = D \left[ \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{h_i}{h} \right)^{p_1} + \beta_2 \left( \frac{h_i}{h} \right)^{p_2} + \dots + \beta_n \left( \frac{h_i}{h} \right)^{p_n} \right] \quad (5)$$

Sendo:

pn = Potências com maior relevância estatística;

di, hi, h, D, βi = conforme definidos anteriormente.

Para integrar a função e obter a expressão que permite a estimativa dos volumes, foi realizada a seguinte simplificação:

$$c_0 = \beta_0 \quad c_1 = \beta_1 / h^{p_1} \quad c_2 = \beta_2 / h^{p_2} \quad \dots \quad c_n = \beta_n / h^{p_n}$$

Após a simplificação, a expressão (5) assume a forma:

$$d_i = D (c_0 + c_1 h_i^{p_1} + c_2 h_i^{p_2} + \dots + c_n h_i^{p_n}) + e_i \quad (6)$$

Substituindo-se (6) em (1), tem-se:

$$v = k * D^2 * \int_{h_1}^{h_2} (c_0 + c_1 h_i^{p_1} + c_2 h_i^{p_2} + \dots + c_n h_i^{p_n})^2 \delta h_i \quad (7)$$

Integrando (7), é obtida a expressão que propicia a obtenção do volume correspondente a qualquer porção da árvore, além do volume total:

$$v = k * D^2 * \left[ \begin{array}{l} c_0^2 h i + 2c_0 c_1 \left( \frac{h i^{(p_1+1)}}{p_1+1} \right) + 2c_0 c_2 \left( \frac{h i^{(p_2+1)}}{p_2+1} \right) + \dots + 2c_0 c_{(n-1)} \left( \frac{h i^{(p_{(n-1)+1})}}{p_{(n-1)}+1} \right) + 2c_0 c_n \left( \frac{h i^{(p_n+1)}}{p_n+1} \right) + \\ + c_1^2 \left( \frac{h i^{(2p_1+1)}}{2p_1+1} \right) + 2c_1 c_2 \left( \frac{h i^{(p_1+p_2+1)}}{p_1+p_2+1} \right) + \dots + c_1 c_{(n-1)} \left( \frac{h i^{(p_1+p_{(n-1)+1})}}{p_1+p_{(n-1)}+1} \right) + 2c_1 c_n \left( \frac{h i^{(p_1+p_n+1)}}{p_1+p_n+1} \right) + \\ + c_2^2 \left( \frac{h i^{(2p_2+1)}}{2p_2+1} \right) + \dots + 2c_{(n-1)} c_n \left( \frac{h i^{(p_{(n-1)}+p_n+1)}}{p_{(n-1)}+p_n+1} \right) + c_n^2 \left( \frac{h i^{(2p_n+1)}}{2p_n+1} \right) \end{array} \right]_{h_1}^{h_2}$$

2.3.3 Integração dos volumes aplicada ao modelo segmentado de Max e Burkhart 1976:

$$d_i = D[\beta_1(X-1) + \beta_2(X^2-1) + \beta_3(a_1-X)^2 * I_1 + \beta_4(a_2-X)^2 * I_2]^{0,5} + e_i$$

Sendo:

$a_1$  e  $a_2$  = pontos de ligação dos polinômios;

$d_i$ ,  $D$ ,  $h_i$ ,  $H$ ,  $e_i$ ,  $\beta_i$ , já foram definidos anteriormente;

$X = h^i / H$ ;

Condições de  $I_i$ :

$I_1 = 1$ , se  $X < a_1$

$I_2 = 0$ , se  $X > a_1$

Para integrar a função e obter a expressão que permite a estimativa dos volumes, procedeu-se da seguinte forma:

$$V = \int_0^{H_j} d^2 h(dh) + \int_{H_j}^{a_1} d^2 h(dh) + \int_{a_1}^{H_1} d^2 h(dh) + \int_{H_1}^{a_2} d^2 h(dh) + \int_{a_2}^H d^2 h(dh)$$

Após integração o polinômio utilizado para o cálculo do volume assume a seguinte forma:

$$V = k * d^2 * H t * \left( \left( \frac{1}{3} \right) * b_2 * \left( \frac{h_2^3}{h_t^3} - \frac{h_1^3}{h_t^3} \right) + \left( \frac{1}{2} \right) * b_1 * \left( \frac{h_2^2}{h_t^2} - \frac{h_1^2}{h_t^2} \right) - (b_1 + b_2) * \left( \frac{h_2}{h_t} - \frac{h_1}{h_t} \right) - \left( \frac{1}{3} \right) * b_3 * \left( \left( a_1 - \frac{h_2}{h_t} \right)^3 * I1 - \left( a_1 - \frac{h_1}{h_t} \right)^3 * J1 \right) - \left( \frac{1}{3} \right) * b_4 * \left( \left( a_2 - \frac{h_2}{h_t} \right)^3 * I2 - \left( a_2 - \frac{h_1}{h_t} \right)^3 \right) \right)$$

Sendo:

$k, d, h_t, h_1, h_2, a_1, a_2, b_i$ s já definidos anteriormente;

$I_i = 1$ , se  $(h_2/h_t) \leq a_i$  e é igual a 0 se  $(h_2/h_t) > a_i$ ;

$J_i = 1$ , se  $(h_1/h_t) \leq a_i$  e é igual a 0 se  $(h_1/h_t) > a_i$ .

### 2.3.4 Integração dos volumes aplicada ao modelo segmentado de Clark et al.1991

$$d_i = \left[ I_s \left\{ D^2 \left( 1 + \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{D^3} * \frac{\left( \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\alpha_3} - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3} \right)}{1 - \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\alpha_3}} \right) \right\} + I_b \left\{ D^2 - \frac{(D^2 - F^2) * \left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{h_i}{H} \right)^{\beta_1} \right)}{\left( \left( 1 - \frac{1,3}{H} \right)^{\beta_1} - \left( 1 - \frac{5,3}{H} \right)^{\beta_1} \right)} \right\} + I_T \left\{ F^2 \left( \gamma_2 \left( \left( \frac{h_i - 5,3}{H - 5,3} \right) - 1 \right)^2 \right) + I_M \left( \frac{1 - \gamma_2}{\gamma_1^2} \right) * \left( \gamma_1 - \left( \left( \frac{h_i - 5,3}{H - 5,3} \right) \right)^2 \right) \right\} \right]^{0,5} + e_i$$

Sendo:  $I_s = 1$ , se  $h_i < 1,3m$ ;  $I_s = 0$ , se  $h_i > 1,3m$ ;  $I_b = 1$ , se  $1,3m < h_i < 5,2m$ ;  $I_b = 0$ , se difere da condição anterior;  $I_T = 1$ , se  $h_i > 5,2m$ ;  $I_T = 0$ , se difere da condição anterior;  $I_M = 1$ , se  $h_i < (5,3 + \gamma_1 (h_i - 5,3))$ ;  $I_M = 0$ , se diferente da condição anterior;  $\alpha_i$ = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco abaixo de 1,3m;  $\beta_i$ = parâmetro a ser estimado para a seção do tronco entre 1,3m e 5,2m;  $\gamma_i$ = parâmetros a serem estimados para a seção do tronco acima de 5,2m;  $F$  = diâmetro com casca (cm) a 5,3m de altura (classe de altura do Quociente de Forma de Girard);  $D, d, H, h_i$ = Já definidos anteriormente;  $e_i$  = erro de estimativa.

Para integrar a função e obter-se a expressão que permite a estimativa dos volumes, procedeu-se da seguinte forma:

$$V \int_0^{H_j} d^2 h(dh) + \int_{H_j}^{1,3} d^2 h(dh) + \int_{1,3}^{5,3} d^2 h(dh) + \int_{5,3}^{h_1} d^2 h(dh) + \int_{h_1}^{h_2} d^2 h(dh) + \int_{h_1}^{u=h_t} d^2 h(dh)$$

Sendo:

$H_j$  = Limites de integração.

Após integração o polinômio utilizado para o cálculo do volume assume a seguinte forma:

$$V = \left\{ \left\{ i1 * d^2 * \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{a3} * \left[ \frac{a1 + \frac{a2}{d^3}}{1 - \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{a3}} \right] * (u1 - l1) + \left[ \frac{a1 + \frac{a2}{d^3}}{1 - \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{a3}} \right] * \frac{\left[ \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{a3} * (ht - l1) - \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{a3} \right]}{a3 + 1} \right. \right. \\ i2 * i3 * \left[ d^2 - (d^2 - f^2) * \frac{\left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{b1}}{\left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{b1} - \left( 1 - \frac{5,2}{ht} \right)^{b1}} * (u2 - l2) + (d^2 - f^2) * \frac{\left[ \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{b1} * (ht - l2) - \left( 1 - \frac{5,2}{ht} \right)^{b1} * (ht - u2) \right]}{\left[ \left( 1 - \frac{1,3}{ht} \right)^{b1} - \left( 1 - \frac{5,2}{ht} \right)^{b1} \right] * (b1 + 1)} \right. \\ \left. \left. \left\{ i4 * F^2 * \left[ y2 * u3 * l3 - y2 * \left[ \frac{(u3 - 5,2)^2 - (l3 - 5,2)^2}{h - 5,2} \right] \right] + \left( \frac{1}{3} \right) * y2 * \left[ \frac{(u3 - 5,2)^2 - (l3 - 5,2)^2}{(h - 5,2)^2} \right] + \left( \frac{1}{3} \right) * i5 * (1 - y2) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. \frac{\left[ y1 * \frac{(u3 - 5,2)^2 - (l3 - 5,2)^2}{(ht - 5,2)^2} \right]^2}{y1^2} - \left( \frac{1}{3} \right) * i6 * (1 - y2) * \frac{\left[ y1 * \frac{(ht - 5,2) - (l3 + 5,2)^2}{(ht - 5,2)^2} \right]^2}{y1^2} \right\} \right\} \right\}$$

Sendo:

$$L_1 \begin{cases} = h_1 \text{ se } h_1 > 0; \\ = 0 \text{ se } h_1 \leq 0; \end{cases} \quad L_2 \begin{cases} = h_1 \text{ se } h_1 > 1,3; \\ = 1,3 \text{ se } h_1 \leq 1,3; \end{cases} \quad L_3 \begin{cases} = h_1 \text{ se } h_1 > 5,2; \\ = 5,2 \text{ se } h_1 \leq 5,2; \end{cases}$$

$$U_1 \begin{cases} = h_2 \text{ se } h_2 < 1,3; \\ = 1,3 \text{ se } h_2 \geq 1,3; \end{cases} \quad U_2 \begin{cases} = h_2 \text{ se } h_2 < 5,2; \\ = 5,3 \text{ se } h_2 \geq 5,2; \end{cases} \quad U_3 \begin{cases} = h_2 \text{ se } h_2 < H; \\ = h \text{ se } h_2 \geq H; \end{cases}$$

$$I_1 \begin{cases} = 1 \text{ se } h_1 < 1,3m; \\ = 0 \text{ se } h_1 \geq 1,3m; \end{cases} \quad I_2 \begin{cases} = 1 \text{ se } h_1 < 5,2m; \\ = 0 \text{ se } h_1 \geq 5,2m; \end{cases} \quad I_3 \begin{cases} = 1 \text{ se } h_2 > 1,3m; \\ = 0 \text{ se } h_2 \leq 1,3m; \end{cases}$$

$$I_4 \begin{cases} = 1 \text{ se } h_2 > 5,2m; \\ = 0 \text{ se } h_2 \leq 5,2m; \end{cases} \quad I_5 \begin{cases} = 1 \text{ se } (L_3 - 5,2) < [\gamma_1(H - 5,2)]; \\ = 0 \text{ se } (L_3 - 5,2) \geq [\gamma_1(H - 5,2)]; \end{cases} \quad I_6 \begin{cases} = 1 \text{ se } (U_3 - 5,2) < [\gamma_1(H - 5,2)]; \\ = 0 \text{ se } (U_3 - 5,2) \geq [\gamma_1(H - 5,2)]; \end{cases}$$

## 2.4 Processamento dos dados

Para os ajustes e obtenção das equações de afilamento segmentadas e não segmentadas foi utilizado o programa R. O ajuste do modelo proposto por Hradetzky foi realizado pelo processo de regressão “passo - a - passo” (“stepwise”). As potencias utilizadas foram: 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; e 25. No caso das funções segmentadas, o algoritmo utilizado para

minimizar a soma de quadrado dos resíduos foi o de Marquardt, que é uma variação do algoritmo de Gauss-newton. Para os cálculos dos sortimentos foram desenvolvidas rotinas de cálculo no Microsoft Excel 2007.

## 2.5 Estatísticas de avaliação das equações

### 2.5.1 Seleção das equações

A integração dos volumes total e de sortimentos derivaram das equações de afilamento, cujas escolhas se embasaram no coeficiente de determinação corrigido ( $R^2$ ), erro padrão da estimativa ( $Sy_x\%$ ) e na análise gráfica dos resíduos.

Para analisar o desempenho das estimativas volumétricas ao longo do fuste, foram calculadas as estatísticas auxiliares do Desvio (D), Desvio Padrão das Diferenças (SD), Somatório dos Quadrados dos Resíduos Relativos (SQRR) e o Resíduos Percentuais (RP), como utilizadas por Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer (1997), Scolforo et al. (1998), Assis (2000), Assis et al. (2001 e 2002) e Queiroz (2006). Tais estatísticas permitem uma avaliação mais detalhada do desempenho das estimativas ao longo de todo o fuste, uma vez que foram calculadas para cada altura relativa onde foram tomados os diâmetros por ocasião da cubagem rigorosa. Foi avaliada também as tendências da distribuição dos resíduos através dos perfis médios reais e estimados para os diâmetros e volumes ao longo do fuste. A TABELA 2 apresenta as fórmulas matemáticas utilizadas no teste da acuracidade.



TABELA 2 – FÓRMULAS UTILIZADAS NO TESTE DE ACURACIDADE PARA ESTIMATIVA VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DE *Tectona grandis* L.f..

Desvio (D)	$\frac{(\sum Diff_i)}{N}$
Desvio Padrão das Diferenças (SD)	$\left[ \frac{\sum (Diff_i - v_i)^2}{(N - 1)} \right]^{0,5}$
Soma do Quadrado do Resíduo Relativo (SQRR)	$\sum \left( \frac{Diff_i}{v_i} \right)^2$
Porcentagem dos Resíduos (RP)	$\frac{\sum \left( \frac{Diff_i}{v_i} \right) * 100}{N}$

Sendo:  $Diff_i = (V_i - V_{i\text{estimado}})$  é o desvio dos volumes;  $V_i$  = volume total ou parcial até a altura  $i$  da árvore;  $V_{i\text{ estimado}}$  = volume total ou parcial estimado;  $N$  = número de árvores.

A partir dessas estatísticas foi elaborada uma classificação para expressar o desempenho dos modelos testados na estimativa dos volumes parciais das árvores em estudo, para cada classe diamétrica e para o conjunto total dos dados e, neste caso, foi desconsiderando o controle de classes. Considerando cada uma das estatísticas auxiliares foram atribuídas notas de 1 a 4, possibilitando classificar as equações desde a mais acurada e até a menos acurada, em cada posição relativa de medição. Essa metodologia de avaliação foi utilizada por Figueiredo Filho et al. (1996), Fischer (1997), Scolforo et al. (1998), Assis et al. (2001), Figueiredo et al. (2006), Queiroz (2006), Souza (2007 e 2009). Os volumes acumulados foram calculados de 0 a 10%, de 0 a 25%, de 0 a 45%, de 0 a 65%, de 0 a 85% e de 0 a 100% das alturas totais das árvores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Ajuste dos modelos

Os parâmetros estimados para os quatro modelos testados, por classe diamétrica e para o conjunto total dos dados, são apresentados na TABELA 3, com os respectivos Erros Padrão da Estimativa em percentagem ( $S_{yx}\%$ ),

Coeficientes de Determinação Corrigidos ( $R^2$ ). Essas estatísticas são indicativas da qualidade dos modelos e demonstram a correlação entre as variáveis independentes e a variável dependente, porém não consistem no instrumento mais adequado para a tomada de decisão sobre qual modelo apresenta o melhor desempenho. Estas retratam valores médios e não fornecem qualquer indicativo do comportamento dos dados ao longo do fuste. Os testes foram complementados pelas estatísticas da TABELA 2, permitindo assim uma avaliação mais detalhada das estimativas ao longo do fuste.

Os modelos testados apresentaram Coeficientes de Determinação Corrigidos ( $R^2$ ) superiores a 0,95, Erros Padrão da Estimativa percentuais ( $S_{yx}\%$ ) no ajuste entre 4 e 10% e Erros Padrão da Estimativa dos volumes ( $S_{yxVol}$ ) entre 4 e 14% (TABELA 3).

TABELA 3 – PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU 1966, HRADETZKY 1976, MAX E BURKHART 1976 E CLARK ET AL. 1991 POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA CONJUNTO TOTAL DE DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

Quinto Grau									
Classes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	Syx (%)	R <sup>2</sup>	
1	1,2775	-5,3685	23,7782	-49,4860	45,5959	-15,6179	8,43	0,95	
2	1,2730	-5,5859	25,7571	-55,1281	51,5892	-17,7422	8,64	0,95	
3	1,2787	-6,0073	28,9401	-64,9790	64,0113	-23,1015	9,33	0,95	
4	1,3231	-6,3505	29,1961	-64,2126	63,2122	-23,0363	8,18	0,96	
5	1,3137	-6,5828	31,1593	-70,0680	70,6305	-26,3312	6,23	0,98	
<b>Conjunto Total</b>	1,2945	-5,9442	27,4711	-59,9574	58,0700	-20,7857	8,52	0,96	

Hradetzky										
Classes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	$\beta_6$	$\beta_7$	Syx (%)	R <sup>2</sup>
1	385,6015	-512,8751	128,1212	-0,6586					7,05	0,96
potências		0,005	0,02	2						
2	33,8869	-33,4330	0,5633	-0,9594	0,1138				7,60	0,96
potências		0,005	0,7	2,00	6					
3	32,8052	-32,3269	0,3438	-0,6697					8,32	0,96
potências		0,005	0,6	2						
4	34,4614	-33,9796	0,2310	-0,5103	-0,0662				7,22	0,97
potências		0,005	0,5	2	25					
5	35,4082	-34,9820	0,2560	-0,4403	-0,1173				4,42	0,99
potências		0,005	0,4	2	25					
<b>Conjunto Total</b>	5690,8028	-7399,8394	-296,8023	2006,0246	1,6340	-2,1013	0,5676	-0,1328	7,23	0,97
potências		0,005	0,08	0,03	2	3	7	25		

Continuação...

TABELA 3 – PARAMÊTROS E MEDIDAS DE PRECISÃO ESTIMADOS PARA OS MODELOS DO QUINTO GRAU 1966, HRADETZKY 1976, MAX E BURKHART 1976 E CLARK ET AL. 1991 POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA CONJUNTO TOTAL DE DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

<b>Max e Burkhart</b>								
<b>Classes</b>	<b>a1</b>	<b>a2</b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>\beta_2</math></b>	<b><math>\beta_3</math></b>	<b><math>\beta_4</math></b>	<b>Syx (%)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	0,0463	0,8951	3,7974	-2,5541	421,1	2,8928	7,35	0,99
2	0,0484	0,9500	10,117	-5,678	345,1	6,1088	7,80	0,96
3	0,0490	0,9500	22,1954	-11,9606	360,1	12,5128	8,39	0,95
4	0,0695	0,9500	29,4208	-15,7551	191,9	16,2617	7,46	0,96
5	0,0700	0,9210	16,1841	-9,0639	192,3	9,535	4,91	0,98
<b>Conjunto Total</b>	<b>0,0652</b>	<b>0,9503</b>	<b>24,0654</b>	<b>-12,9708</b>	<b>207,6</b>	<b>13,3995</b>	<b>7,74</b>	<b>0,97</b>
<b>Clark et al.</b>								
<b>Classes</b>	<b><math>\alpha_1</math></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b><math>\alpha_3</math></b>	<b><math>\beta_1</math></b>	<b><math>Y_1</math></b>	<b><math>Y_2</math></b>	<b>Syx (%)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
1	1,6065	-7587,6	66,441	6,6336	1,019	-27,6815	6,97	0,97
2	0,6733	9585,0	63,3028	7,4555	1,02	-21,6426	7,45	0,96
3	1,2221	-4567,0	65,1981	8,1976	1,0855	-4,2475	6,94	0,96
4	1,1413	1046,5	52,0951	3,7769	1,086	-5,4424	6,04	0,97
5	1,2316	-5647,3	57,1958	5,2601	1,111	-4,6051	4,84	0,98
<b>Conjunto Total</b>	<b>1,2513</b>	<b>-4572,8</b>	<b>57,9901</b>	<b>5,4674</b>	<b>1,069</b>	<b>-6,6875</b>	<b>7,15</b>	<b>0,97</b>

Em geral todas as equações apresentaram alguma tendenciosidade na distribuição dos resíduos dos volumes ao longo da linha estimativa (FIGURA 2). Os quatro modelos testados, para as diferentes classes diamétricas e para o conjunto total dos dados, apresentaram algumas tendenciosidades ao longo da linha média. Os gráficos para as classes diamétricas são apresentados nas FIGURAS 3, 4, 5, 6 e 7 do ANEXO.

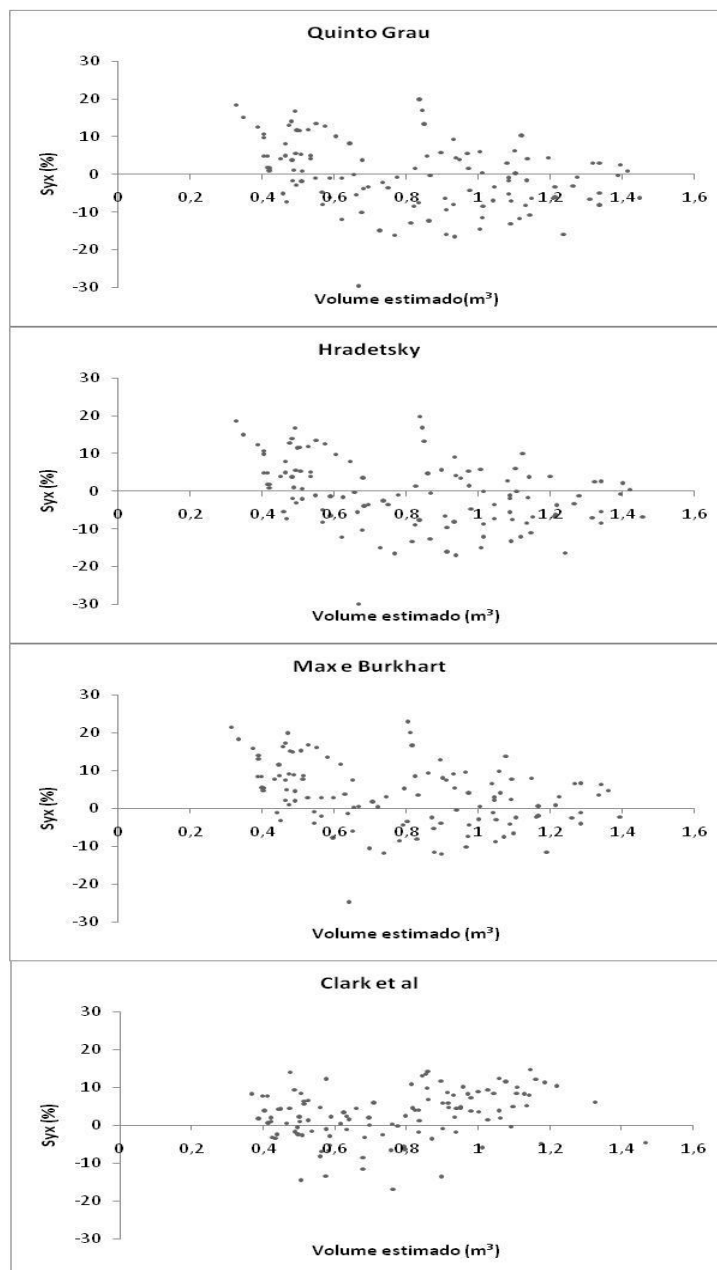


FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

### 3.2 Acuracidade dos modelos para estimativa dos volumes ao longo dos fustes para o conjunto total de dados.

A equação do quinto grau foi a que estimou com maior acuracidade os volumes ao longo do fuste e, em 83,33% dos casos obteve os melhores índices nas posições do fuste a 10%, 45%, 65%, 85% e 100% da altura total (TABELA 4). A equação de Max e Burkhart alcançou melhor pontuação na altura relativa de 25% da altura total, o que corresponde a 16,66% dos casos.

Schneider et al. (1996), Müller et al. (2005), Souza (2005) e Mendonça et al. (2007) trabalhando com *Eucalyptus* spp., e Fischer et al. (1998), Drescher et al. (1999) e trabalhando com *Pinus* spp., concluíram que a equação do Quinto Grau oferece os melhores resultados para estimativa dos volumes ao longo dos fustes, confirmando os resultados obtidos neste trabalho, também para *Tectona grandis* L.f. Na FIGURA 8 são observados os perfis médios reais e estimados para o conjunto total dos dados.

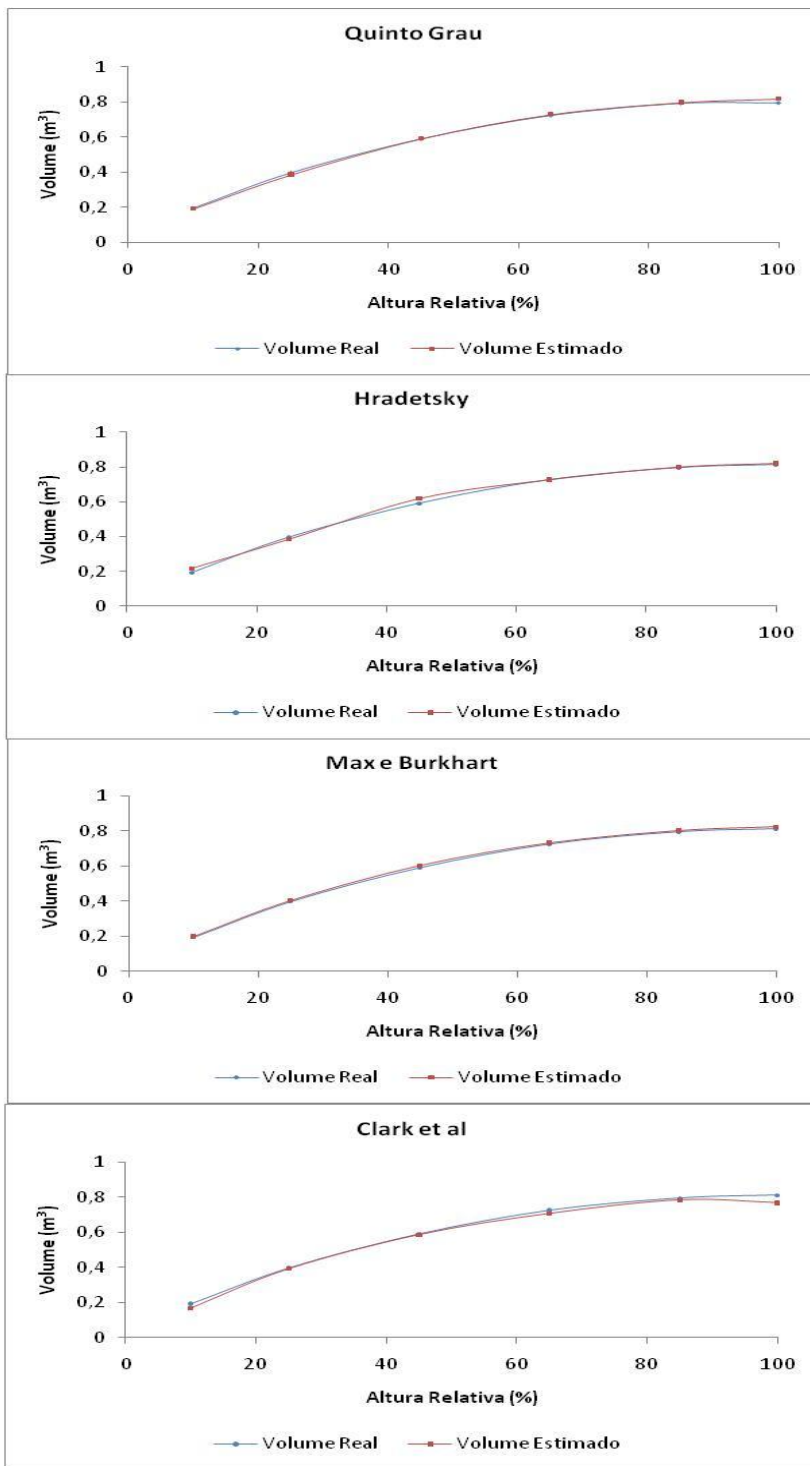


FIGURA 8 – VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

As equações do Quinto Grau e de Max e Burkhart foram as que apresentaram melhores estimativas dos volumes ao longo de todas as alturas relativas. A equação de Clark apresentou tendências a subestimar os volumes na maior e na menor altura relativa. A equação de Hradetzky superestimou os volumes a 10% e 45% da altura total.

Os gráficos dos perfis médios estimados confirmaram o resultado encontrado em função do Desvio (D), Desvio Padrão das Diferenças (SD), Somatório dos Quadrados dos Resíduos Relativos (SSRR) e o Resíduos Percentuais (RP) onde a equação do Quinto Grau estimou com maior acurácia os volumes ao longo do fuste.

TABELA 4 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS, PARA OS MODELOS TESTADOS.

Modelo	Estatística	ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
		10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	0,0014	0,0104	-0,0010	-0,0043	-0,0028	-0,0061
	SD	0,0232	0,0318	0,0421	0,0551	0,0649	0,0682
	SSRR	1,3847	0,7964	0,6383	0,7093	0,8488	0,8815
	RP	-1,2313	2,2212	0,1238	-0,0250	0,2099	-0,3128
Hradetzky	D	0,0234	-0,0119	0,0274	0,0008	0,0043	0,0083
	SD	-0,0288	-0,0324	-0,0533	-0,0548	-0,0655	-0,0690
	SSRR	-3,0207	-0,8288	-0,9097	-0,7159	-0,8630	-0,8992
	RP	13,4046	-2,6206	4,3271	-0,4951	-0,0547	0,5397
Max e Burkhart	D	-0,0042	-0,0055	-0,0113	-0,0048	-0,0053	-0,0103
	SD	0,0163	0,0306	0,0447	0,0552	0,0654	0,0691
	SSRR	0,9417	0,8376	0,6901	0,7103	0,8538	0,8969
	RP	-3,3924	-1,7947	-1,6121	-0,0916	-0,1084	-0,8173
Clark et al.	D	0,0257	0,0059	0,0052	0,0196	0,0118	0,0450
	SD	0,0321	0,0410	0,0435	0,0650	0,0558	0,0786
	SSRR	2,3244	1,2235	0,4796	0,6464	0,4849	0,7335
	RP	12,4190	-1,1123	0,1184	1,2308	0,5126	4,4305
NOTAS							
5° Grau		5	9	4	7	7	5
Hradetzky		13	13	13	9	10	9
Max e Burkhart		9	7	8	11	9	13
Clark et al.		13	11	15	13	12	13



### 3.3 Acuracidade dos modelos para estimativa dos volumes nas alturas relativas por classes diamétricas.

A equação do Quinto Grau ajustou melhor os volumes dos sortimentos nas classes 2 e 3 (TABELAS 6 e 7), a de Hradetzky nas classes 4 e 5 (TABELAS 8 e 9), e a de Max e Burkhardt na classe 1 (TABELA 5). Conforme demonstrado na TABELA 10, das quatro equações ajustadas, apenas a de Clark et al., não proporcionou volumes acurados em nenhuma classe diamétrica.

Com relação aos resultados obtidos por Fischer et al. (1998) e Einfeld et al. (2004) que trabalharam com *Pinus taeda*, por Abreu et al. (2002) com *Eucalyptus grandis* e por Queiroz (2006) com *Mimosa scabrella* Bentham, todos mostraram que a equação de Hradetzky é a que melhor estima os volumes dos sortimentos. Este trabalho permite afirmar que, para *Tectona grandis* L.f., a aplicação desta equação é a mais recomendada para os volumes totais das menores árvores, classe 1 (TABELA 5) e para as maiores árvores, ou seja, aquelas que apresentam DAP superior a 35,7 centímetros (TABELA 9).

Para os volumes totais das árvores, a equação do Quinto Grau foi mais acurada nas classes 2, 3 e 4, ou seja, nas árvores cujo DAP foi maior que 27,2 cm e até 40 cm, enquanto que, para a de Hradetzky os melhores ajustes foram nas classes 1 e 5, ou seja, nas árvores cujos DAP for de 23 até 27,1 cm e de 40,1 a 44 cm (TABELA 10).

A equação que melhor descreveu os volumes nos primeiros 25% das alturas totais dos fustes das árvores foi a de Max e Burkhardt.

TABELA 5 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 1 PARA OS MODELOS TESTADOS.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
Modelo	Estatística	10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	-0,0108	0,0099	0,0105	0,0198	0,0283	0,0256
	SD	0,0128	0,0172	0,0209	0,0313	0,0407	0,0394
	SSRR	0,3895	0,1330	0,0953	0,1347	0,1857	0,1686
	RP	-10,6877	4,3239	3,1020	4,7050	6,0795	5,4004
Hradetzky	D	0,0052	0,0089	0,0024	0,0049	0,0064	0,0032
	SD	0,0086	0,0168	0,0189	0,0261	0,0321	0,0322
	SSRR	0,1656	0,1292	0,0806	0,0966	0,1205	0,1175
	RP	4,7923	3,8417	0,6495	1,1003	1,2987	0,5762
Max e Burkhart	D	-0,0046	0,0072	-0,0003	0,0047	0,0065	-0,0109
	SD	0,0083	0,0159	0,0187	0,0259	0,0320	0,0342
	SSRR	0,1795	0,1148	0,0793	0,0951	0,1190	0,1358
	RP	-4,8574	3,0493	-0,1994	1,0313	1,3033	-2,4568
Clark et al.	D	0,0155	0,0016	0,0155	-0,0036	0,0351	0,0205
	SD	0,0162	0,0157	0,0206	0,0195	0,0427	0,0338
	SSRR	0,5724	0,1356	0,0831	0,0548	0,1892	0,1127
	RP	14,9749	0,7307	4,5088	-1,0775	7,4744	4,1887
NOTAS							
5° Grau		12	15	14	16	12	13
Hradetzky		6	11	8	12	6	6
Max e Burkhart		6	7	4	7	6	11
Clark et al.		16	7	14	5	16	10

TABELA 6 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 2 PARA OS MODELOS TESTADOS.

Modelo	Estatística	ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
		10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	-0,0085	0,0012	-0,0013	-0,0010	0,0005	-0,0029
	SD	0,0128	0,0262	0,0382	0,0458	0,0519	0,0537
	SSRR	0,2857	0,3130	0,2564	0,2177	0,2371	0,2464
	RP	-6,8964	-0,1922	-0,8269	-0,5776	-0,2504	-0,8142
Hradetzky	D	-0,0085	-0,0099	-0,0103	-0,0069	-0,0080	-0,0104
	SD	0,0128	0,0283	0,0398	0,0465	0,0529	0,0550
	SSRR	0,2845	0,3846	0,2881	0,2290	0,2515	0,2622
	RP	-6,8665	-4,2127	-2,9519	-1,6901	-1,7075	-2,0858
Max e Burkhart	D	-0,0060	0,0001	0,0003	0,0085	0,0070	-0,0115
	SD	0,0114	0,0263	0,0381	0,0461	0,0520	0,0553
	SSRR	0,2227	0,3164	0,2532	0,2130	0,2337	0,2655
	RP	-5,0453	-0,6059	-0,4501	1,2152	0,8866	-2,2875
Clark et al.	D	0,0047	-0,0155	0,0073	-0,0168	0,0212	0,0191
	SD	0,0110	0,0273	0,0239	0,0340	0,0358	0,0354
	SSRR	0,1574	0,2803	0,0834	0,1223	0,0965	0,0917
	RP	2,9044	-6,0006	1,2219	-3,2586	3,3706	2,9602
NOTAS							
5° Grau		16	8	10	6	7	5
Hradetzky		12	12	15	11	14	9
Max e Burkhart		8	8	6	11	9	13
Clark et al.		4	12	9	12	10	13

TABELA 7 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 3, PARA OS MODELOS TESTADOS.

		ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
Modelo	Estatística	10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	-0,0086	0,0113	0,0051	0,0015	0,0053	0,0033
	SD	0,0173	0,0340	0,0489	0,0661	0,0808	0,0883
	SSRR	0,2008	0,1115	0,1021	0,1264	0,1544	0,1771
	RP	-5,7418	2,0596	0,1540	-0,8061	-0,5047	-0,9482
Hradetzky	D	-0,0049	-0,0031	0,0009	-0,0018	-0,0046	-0,0040
	SD	0,0204	0,0320	0,0486	0,0661	0,0806	0,0882
	SSRR	0,2173	0,1172	0,1041	0,1292	0,1634	0,1848
	RP	-3,7106	-1,6881	-0,5670	-1,2754	-1,7883	-1,8778
Max e Burkhart	D	-0,0064	0,0102	0,0093	0,0123	0,0117	-0,0144
	SD	0,0165	0,0337	0,0495	0,0674	0,0816	0,0890
	SSRR	0,1775	0,1102	0,1019	0,1224	0,1516	0,2009
	RP	-4,5958	1,7781	0,8790	0,7181	0,3356	-3,1979
Clark et al.	D	0,0149	-0,0013	0,0250	0,0420	0,0374	0,0359
	SD	0,0219	0,0298	0,0419	0,0654	0,0719	0,0768
	SSRR	0,1966	0,1186	0,0788	0,1152	0,1203	0,1328
	RP	6,8129	-1,3084	3,7816	5,1326	3,9242	3,4787
		NOTAS					
5° Grau		11	14	9	9	10	8
Hradetzky		9	9	9	11	10	11
Max e Burkhart		6	10	12	10	10	12
Clark et al.		14	7	10	10	10	9

TABELA 8 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 4 PARA OS MODELOS TESTADOS.

Modelo	Estatística	ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
		10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	-0,0125	0,0186	0,0050	0,0076	0,0091	0,0056
	SD	0,0251	0,0403	0,0478	0,0577	0,0704	0,0741
	SSRR	0,4191	0,2049	0,1376	0,1344	0,1693	0,1847
	RP	-5,7148	3,2663	0,3437	0,5092	0,4749	0,0691
Hradetzky	D	-0,0130	-0,0003	-0,0062	-0,0012	-0,0048	-0,0063
	SD	0,0254	0,0361	0,0481	0,0573	0,0701	0,0743
	SSRR	0,4295	0,1837	0,1459	0,1369	0,1763	0,1932
	RP	-5,9487	-0,4602	-1,1712	-0,4712	-0,9350	-1,1171
Max e Burkhart	D	-0,0027	0,0018	0,0355	0,0438	0,0438	-0,0071
	SD	0,0219	0,0362	0,0588	0,0714	0,0818	0,0744
	SSRR	0,2996	0,1815	0,1923	0,1904	0,2097	0,1941
	RP	-1,8124	-0,0551	4,4800	4,5185	4,0041	-1,1941
Clark et al.	D	-0,0019	0,0155	0,0342	0,0677	0,0613	0,0584
	SD	0,0236	0,0425	0,0520	0,0785	0,0781	0,0787
	SSRR	0,3343	0,2331	0,1638	0,2336	0,1936	0,1890
	RP	-1,4640	2,4944	4,5337	7,2705	5,9228	5,4714
NOTAS							
5° Grau		12	14	4	7	6	4
Hradetzky		16	6	8	5	6	9
Max e Burkhart		6	6	15	12	14	13
Clark et al.		6	14	13	16	14	14

TABELA 9 – DESVIO (D), SOMATÓRIO DOS QUADRADOS DOS RESÍDUOS RELATIVOS (SSRR), DESVIO PADRÃO DAS DIFERENÇAS (SD) E RESÍDUO PERCENTUAL (RP) DOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA ESTIMATIVA DOS VOLUMES AO LONGO DO FUSTE DAS ÁRVORES DE *Tectona grandis* L. f.. E O SOMATÓRIO DAS NOTAS OBTIDAS EM CADA ALTURA RELATIVA PARA A CLASSE 5 PARA OS MODELOS TESTADOS.

Modelo	Estatística	ALTURAS RELATIVAS DE MEDIÇÃO (%)					
		10	25	45	65	85	100
5° Grau	D	-0,0146	0,0201	0,0102	0,0120	0,0155	0,0096
	SD	0,0194	0,0325	0,0364	0,0487	0,0578	0,0562
	SSRR	0,0862	0,0404	0,0276	0,0327	0,0374	0,0346
	RP	-5,1162	2,9295	0,8555	0,7641	0,9338	0,4641
Hradetzky	D	-0,0157	-0,0043	-0,0025	0,0006	-0,0015	-0,0049
	SD	0,0201	0,0257	0,0348	0,0469	0,0555	0,0553
	SSRR	0,0925	0,0305	0,0276	0,0325	0,0373	0,0358
	RP	-5,4736	-1,0208	-0,5447	-0,2649	-0,4515	-0,6885
Max e Burkhart	D	-0,0073	-0,0004	-0,0091	-0,0027	0,0006	-0,0080
	SD	0,0152	0,0254	0,0357	0,0469	0,0555	0,0556
	SSRR	0,0545	0,0287	0,0301	0,0331	0,0370	0,0367
	RP	-2,7536	-0,3772	-1,2649	-0,5584	-0,2824	-0,9352
Clark et al.	D	0,0052	0,0418	0,0140	0,0868	0,0824	0,0776
	SD	0,0117	0,0613	0,0693	0,1025	0,1061	0,1057
	SSRR	0,0232	0,1452	0,0846	0,1328	0,1177	0,1115
	RP	1,5815	6,2166	1,5888	7,6162	6,5330	6,0096
NOTAS							
5° Grau		11	12	10	11	12	8
Hradetzky		14	8	4	5	7	5
Max e Burkhart		8	4	10	8	5	10
Clark et al.		4	16	16	16	16	16

TABELA 10 – CLASSIFICAÇÃO DAS EQUAÇÕES PARA OS VOLUMES NAS POSIÇÕES RELATIVAS, AO LONGO DO FUSTE POR CLASSE DIAMÉTRICA E PARA O CONJUNTO TOTAL DE DADOS E AS PORCENTAGENS ALCANÇADAS PARA *Tectona grandis* L.f..

Altura (%)	Classe diamétrica					Conjunto Total
	1	2	3	4	5	
10	H-M	C	M	M-C	C	Q
25	C-M	H-M	C	M-H	M	M
45	M	M	Q-H	Q	H	Q
65	C	Q	Q	H	H	Q
85	M-H	Q	C-M-Q	H	M	Q
100	H	Q	Q	Q	H	Q
Q	0,00	50,00	47,22	33,33	0,00	83,33
H	33,33	8,33	8,33	41,67	50,00	0,00
M	41,67	25,00	22,22	16,67	33,33	16,67
C	25,00	16,67	22,22	8,33	16,67	0,00

Modelos: Q= Quinto Grau; H = Hradetzky 1976; M = Max e Burkhart 1976  
C = Clark et al. 1991.

Com relação aos volumes estimados e os volumes reais, ao longo de todos os fustes, foi verificado nas FIGURAS 9 a 13, que caracterizam os perfis médios, que as equações supra citadas foram altamente correlacionadas e podem ser recomendadas a sua utilização para todas as dimensões dos multiprodutos.

Foi observado, também, que a equação de Max e Burkhart, até os 25% iniciais das árvores, com exceção da classe 4, são altamente correlacionadas e pode ser recomendada a sua utilização para a obtenção desses volumes para *Tectona grandis*, confirmando os resultados obtidos na aplicação deste modelo, por Figueiredo Filho e Schaaf (1999) para *Pinus elliottii* Engelm.

A equação do Quinto Grau desenvolvida para o conjunto total dos dados é recomendada por ser mais acurada, e devido a sua maior simplicidade de ajuste e aplicação, pois no ajuste por classe diamétrica ocorreu grande variação nos resultados.

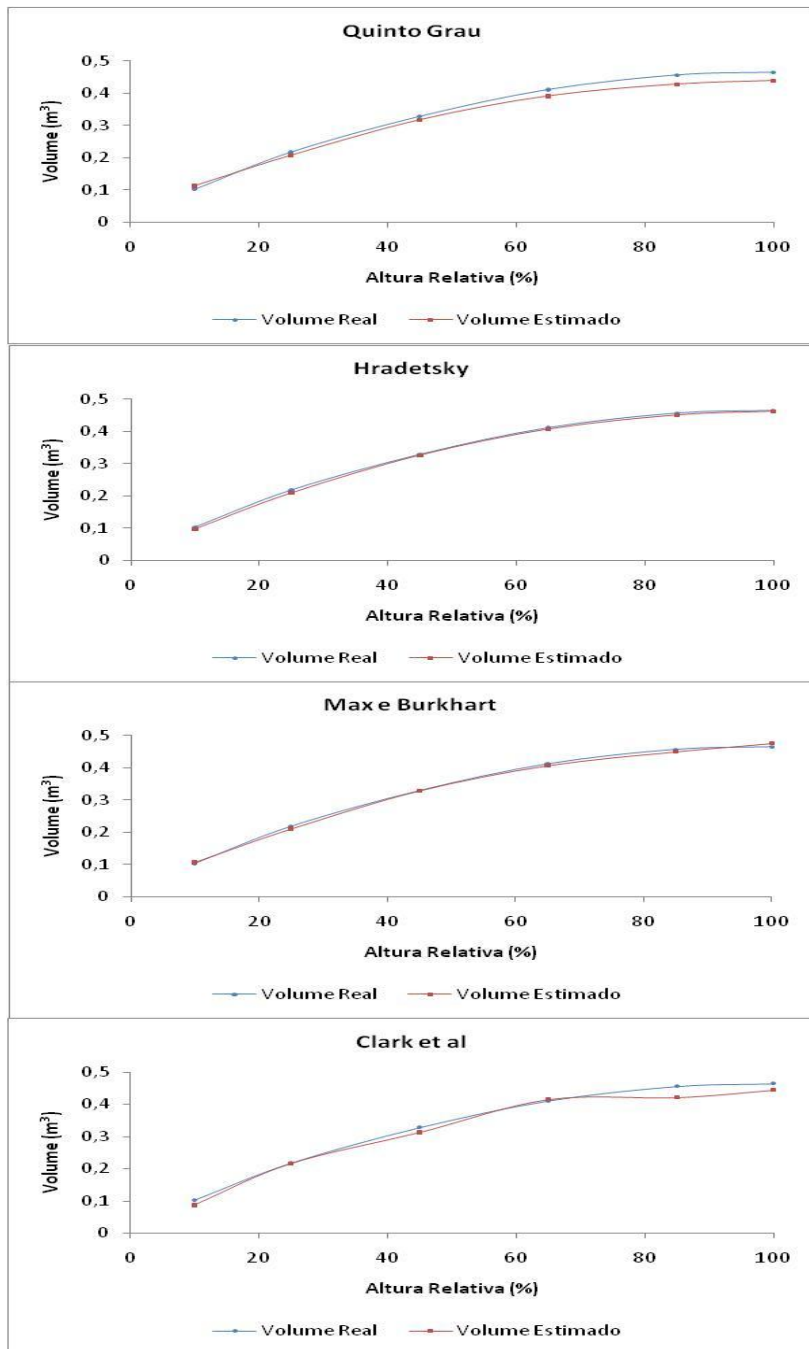


FIGURA 9 - VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 1 PARA *Tectona grandis* L.f.



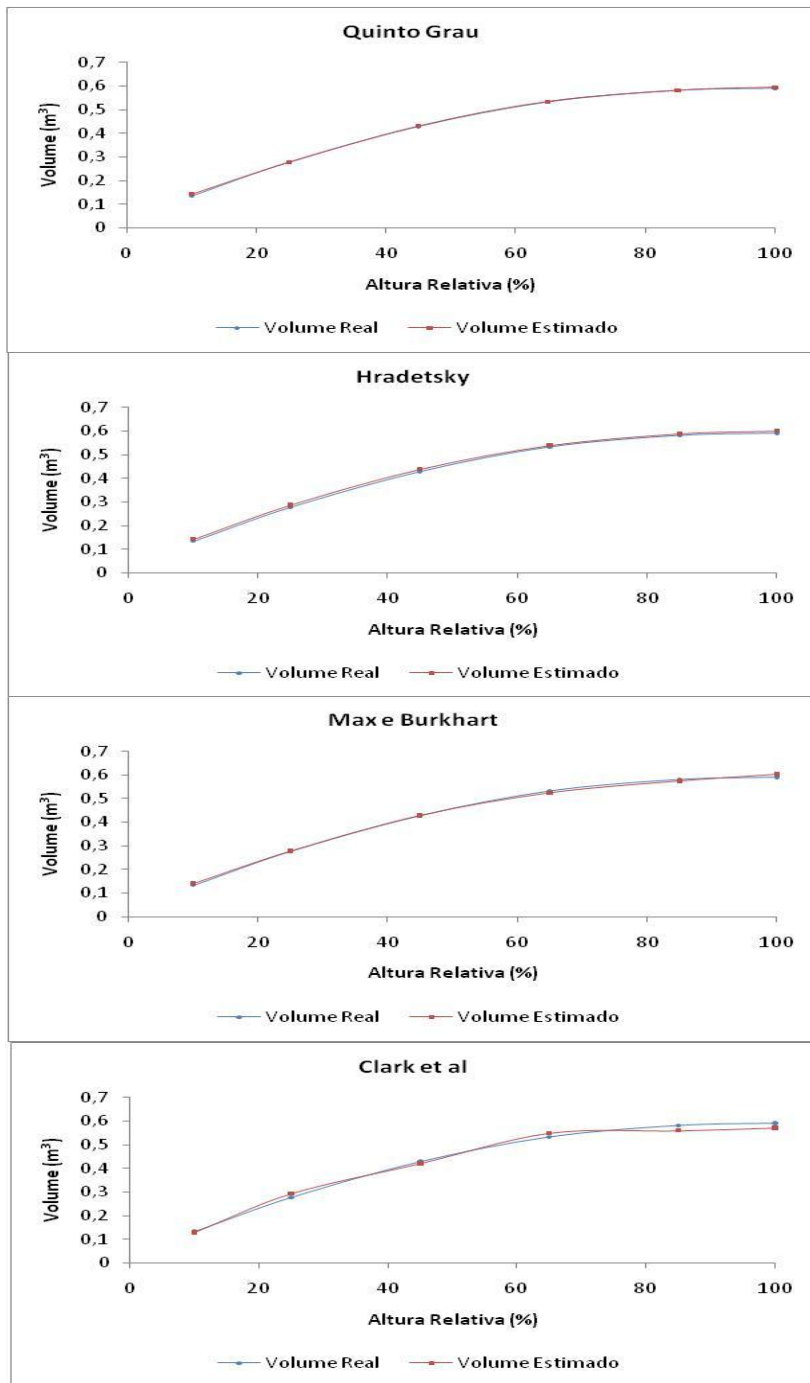


FIGURA 10 - VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 2 PARA *Tectona grandis* L.f..

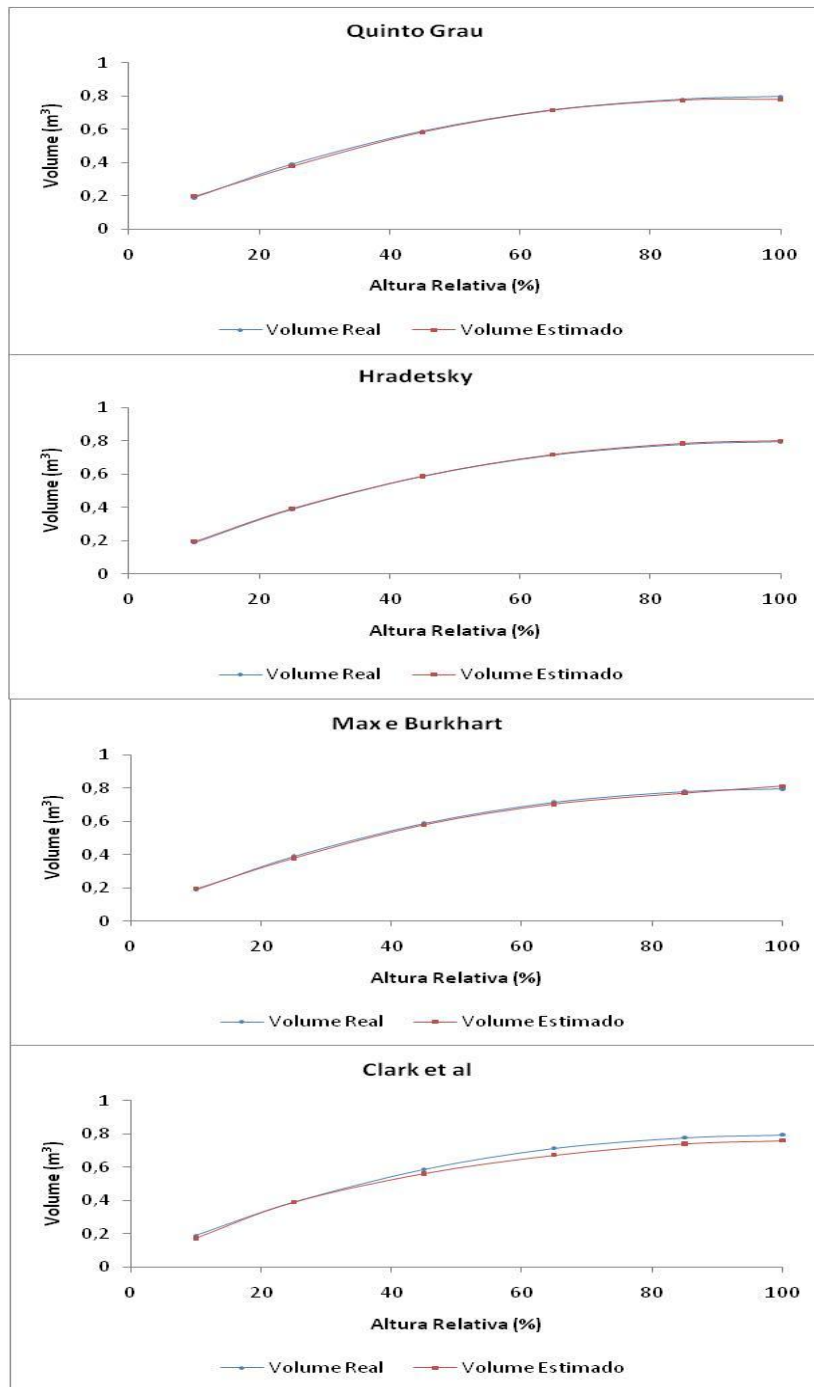


FIGURA 11 - VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 3 PARA *Tectona grandis* L.f.

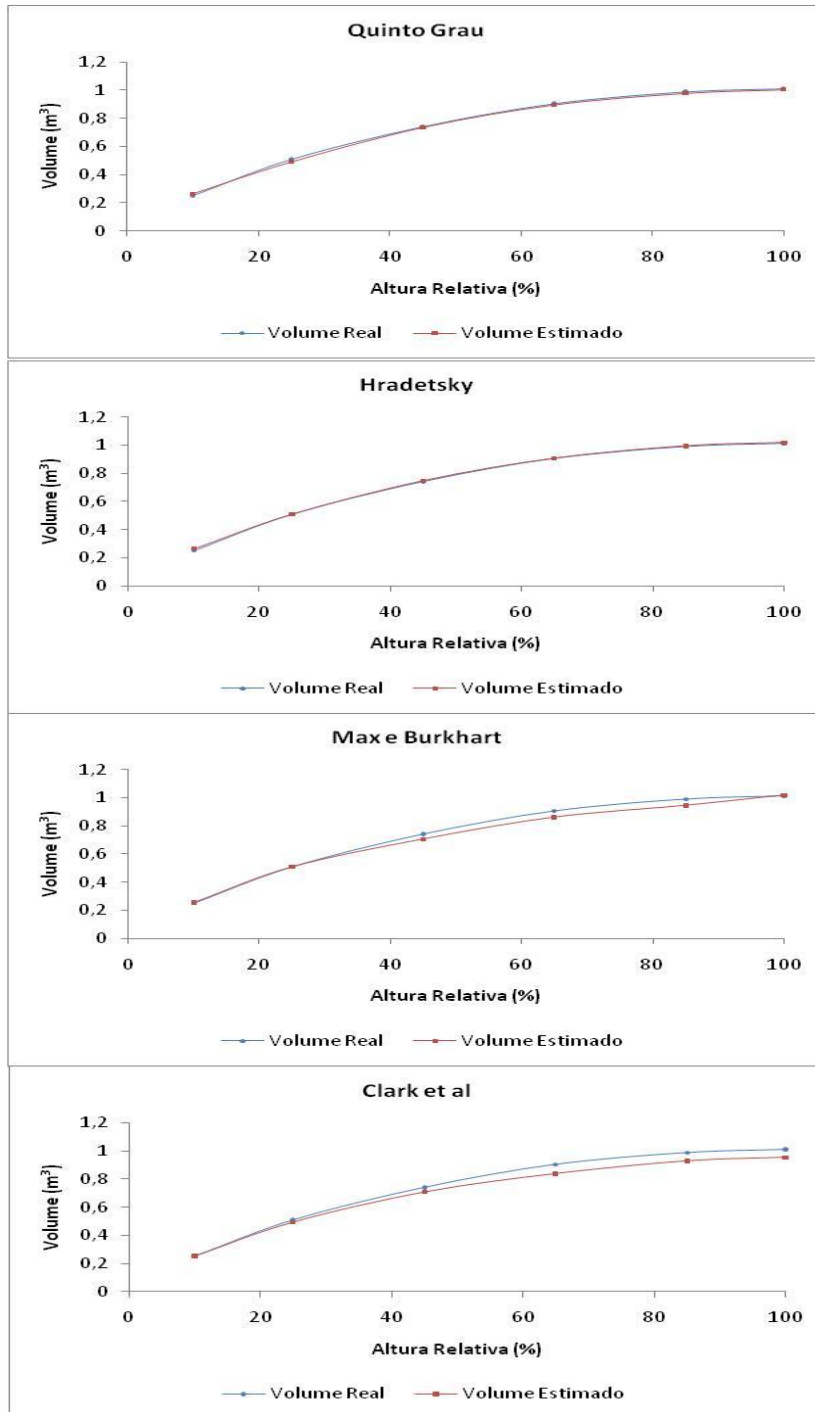


FIGURA 12 - VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 4 PARA *Tectona grandis* L.f.

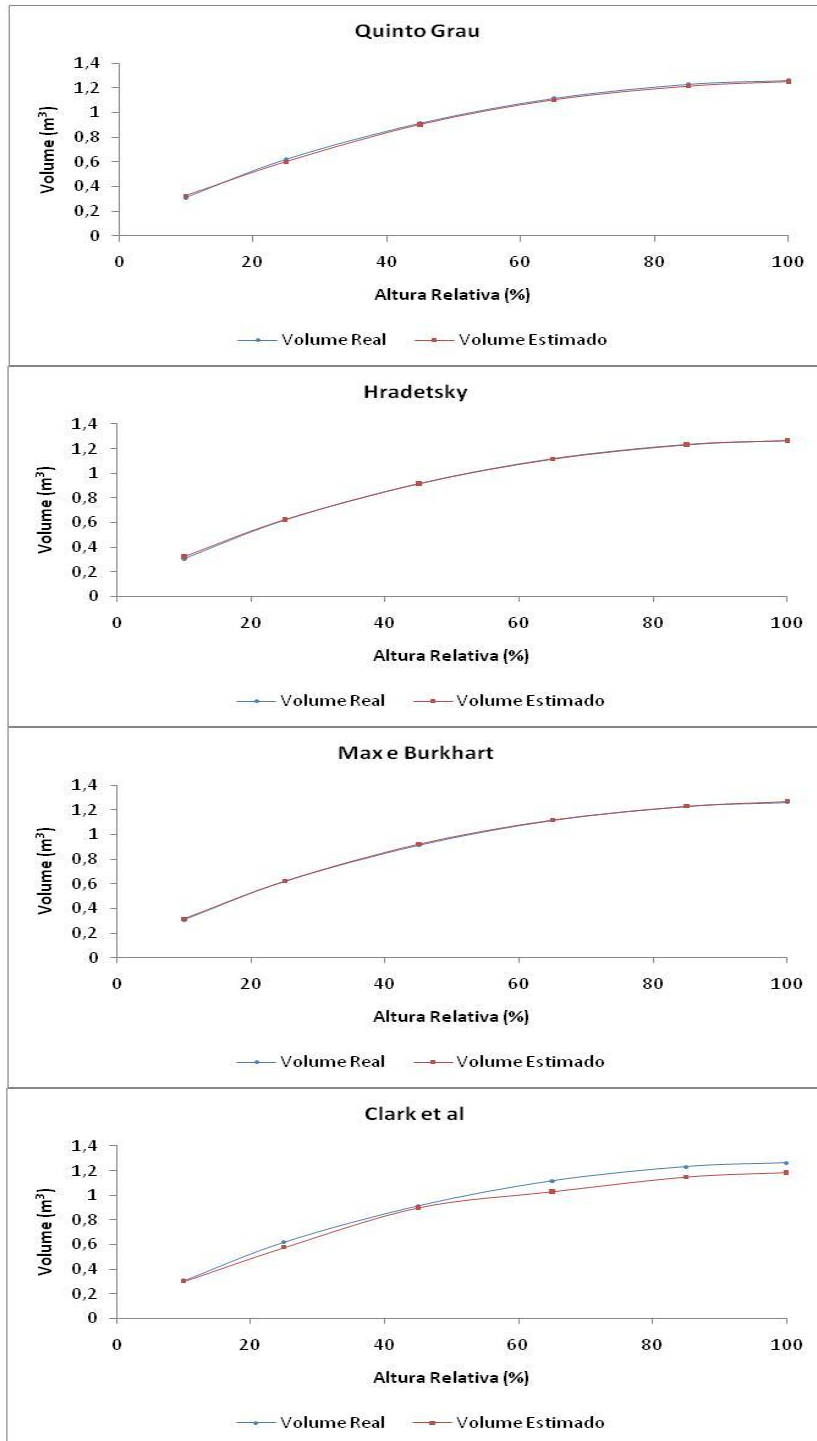


FIGURA 13 - VOLUMES MÉDIOS REAIS E ESTIMADOS PELOS MODELOS POLINOMIAIS SEGMENTADOS E NÃO SEGMENTADOS PARA A CLASSE 5 PARA *Tectona grandis* L.f.

#### 4. CONCLUSÕES

Para estimativa dos volumes ao longo do fuste de *Tectona grandis* L. f., com ajuste para o conjunto total de dados e para as classes 2 e 3, DAP de 27,21 a 35,7 cm, a equação do quinto grau é superior àquelas obtidas com os modelos de Hradetzky 1976, Max e Burkhardt 1976 e Clark et al. 1991.

Para estimar os volumes parciais da classe 1, DAP de 22,90 a 27,20 cm, a equação de Max e Burkhardt 1976 é a mais acurada, enquanto para as classes 4 e 5, DAP de 35,71 a 44 cm, é a de Hradetzky 1976.

A equação de Max e Burkhar 1976 é indicada para estimar os volumes na base do fuste, região onde se encontra o maior volume, para todas as classes e para o conjunto total dos dados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E. C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, H. K. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, n.6, p. 86-102, jun. 2002.

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

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Comparação de modelos polinomiais segmentados e não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes ao longo do fuste de *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v.7, n.1 p.20-40. 2001.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; JÚNIOR, F. W. A.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal.**, Santa Maria, Brasil Vv. 12, n.1, p. 89-107. , 2002.

BRASIL. **Folha SD.21 – Juruena: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro:. Ministério das Minas e Energia, 1980. 464p. (Levantamento dos recursos naturais, 20).

CAMPELO JÚNIOR, JR. J. H.; CASEIRO, F. T.; FILHO, N. P.; BELLO, G. A. C.; MAITELLI, G. T.; ZANPARONI, C. A. G. P. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In. : ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 7, 1991, Londrina, **Anais...** Londrina, v. 1.

CLARK III, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for Southern tree species**. USDA: Southeastern /forest Experiment Station, 113p. 1991. 113p.

DRESCHER, R. SCHENEIDER, P. R. FINGER, C. A. G. Sortimentos de *pinnus Pinus elliotii* Engelm para a região da serra do sudeste do estado do Rio Grande do sul Sul – Brasil. **Ciencia Ciência Florestal**, v.9, n.2, p.55-73. 1999.

EISFELD, R. L.; MELLO A. A.; SANAQUETTA, C. R.; WEBER, K. S. Avaliação de modelos polinomiais na estimativa de volume total e por sortimento de *Pinus taeda*. **Brasil Florestal**, v.XX, n.79, p.XX-XX,. 2004.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* plantations in shothern Brazil. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, n.83, n.1/2, p.36-46, June 1996.

FIGUEIREDO FILHO, A.;SCHAAF, L. B. Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). **Canadian journal of forest research**, Canada, n.29, p. 451 – 461, May, 1999.

FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L.f. **Acta Amazonica**, Manaus, vol. 36, n.XX, p p.465-482, 2006.

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 - MG.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R.S.; JÚNIOR, F. W. A.; MELLO, J. M.; MAESTRI, R. Exatidão dos modelos polinomiais não-segmentados e das razões entre volumes para representar o perfil do tronco de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p. 167-188, 1998.

HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation staitistisher abränger keiten. (Biometrische Beiträge zu aktuellen forshungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 146 p, 1976. 146 p.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO A. F. **Dendrometria**, 2 ed., Guarapuava: Unicentro, 2006. p.316p.

MAX, T. A.; BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, Washington, v.22, n.3, p.283-289, sept, 1976.

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

MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHENEIDER, P. R. Forma do tronco e sortimentos de Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, na região sudeste do estado do rio Rio grande Grande do sulSul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.3, p. 293-305. , Santa Maria. 2005.

PELLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: UFPR. 1997. XXXp.

QUEIROZ, D. **Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Bentham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR**. Dissertação, XXp. (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2006.

R - A LANGUAGE AND ENVIROMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. **R for Windows 2.13.1**. Vienna: Austria. 2002. Disponível em: <<http://www.r-project.org/index.html>>. Acesso em: 22 Jan. 2011.

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

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

SEPALN - Secretaria de Estado e Planejamento. **Mapa de solos do estado de Mato Grosso – 001**. Cuiabá: SEPLAN/MT, 2001. 1p. Disponível em: < <http://www.zsee.seplan.mt.gov.br/mapaspdf/> >. Acesso em: 22 Jul. 2011.

SCHÖEPFER, W. 1966. **Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad.** [S.l.]: Wurt-Forstl., Não paginado.

SOUZA, A. N. **Crescimento, produção e análise econômica econômica de povoamentos clonais de eucalyptus *Eucalyptus* sp. em sistemas agroflorestais**. Tese, XXp. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – Minas Gerais. 2005.

SOUZA, C. A. M. **Avaliação de modelos de *Taper* não-segmentados e segmentados na estimação de altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** Dissertação, XXp. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo – Espírito Santo. 2007.

SOUZA, C. A. M. **Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação**. Tese, XXp. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria – Rio Grande do Sul. 2009.



## 6. CONCLUSÕES GERAIS

O modelo de Hradetzky 1976 propicia as melhores equações para estimativa dos diâmetros ao longo do fuste de *Tectona grandis* L.f., quando ajustado por classe de diâmetro, em relação àquelas baseadas nos modelos do Quinto Grau, de Max e Burkhart 1976 e de Clark et al. 1991.

Para estimar os volumes dos sortimentos dos fuste de *Tectona grandis* L.f., ocorre alternância entre as equações desenvolvidas a partir dos modelos não segmentados de Hradetzky 1976 e do Quinto Grau e do modelo segmentado de Max e Burkhart 1976. A equação do Quinto Grau é a mais adequada para essa estimativa, com o ajuste para conjunto total dos dados.

As equações desenvolvidas a partir dos modelos não segmentados são superiores, na maioria dos casos, para estimar os diâmetros e os volumes ao longo de fuste de *Tectona grandis* L.f.

## ANEXO

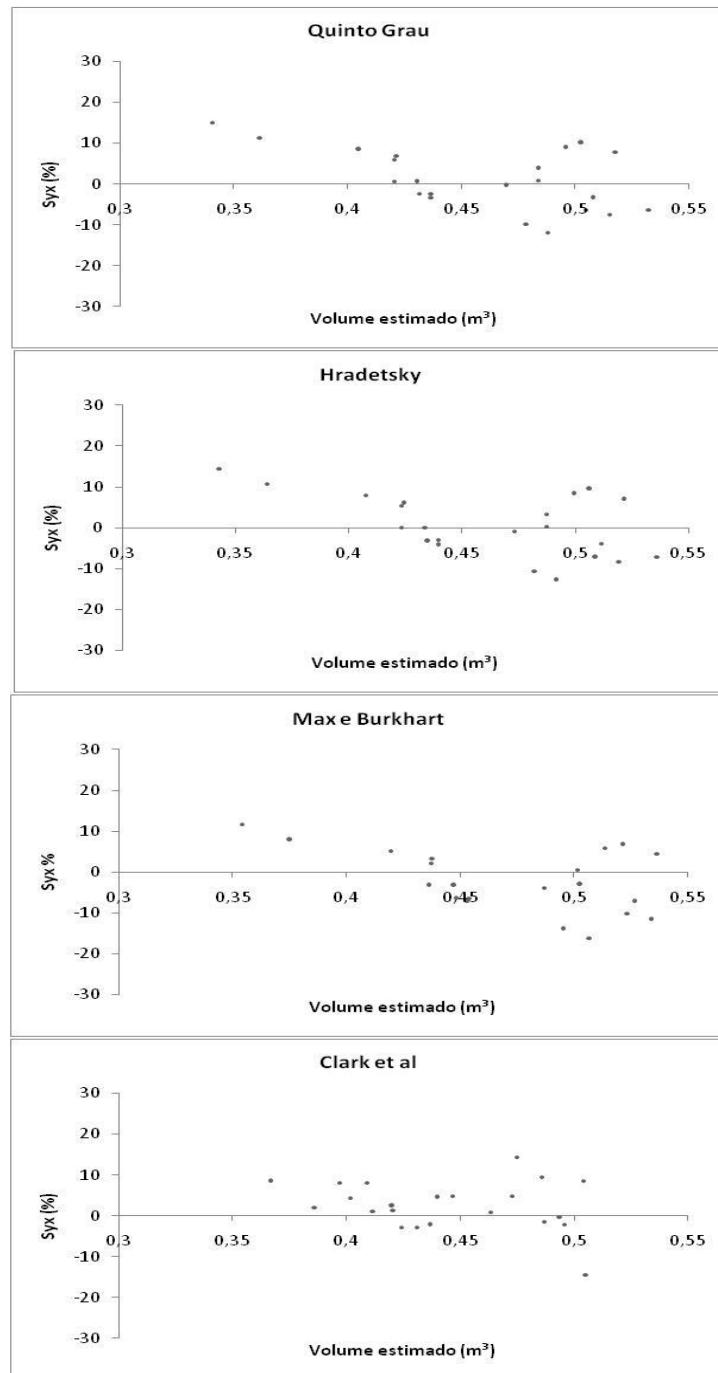


FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA A CLASSE 1 PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

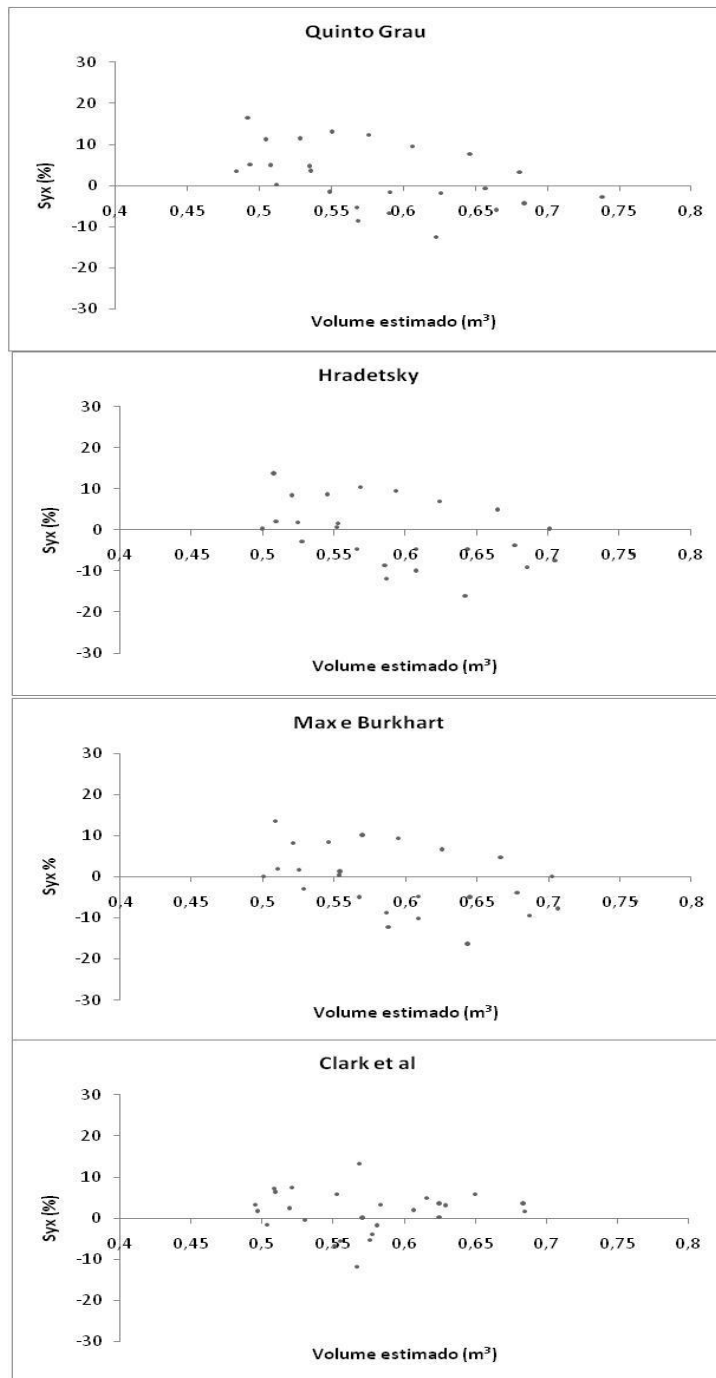


FIGURA 4 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA A CLASSE 2 PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.

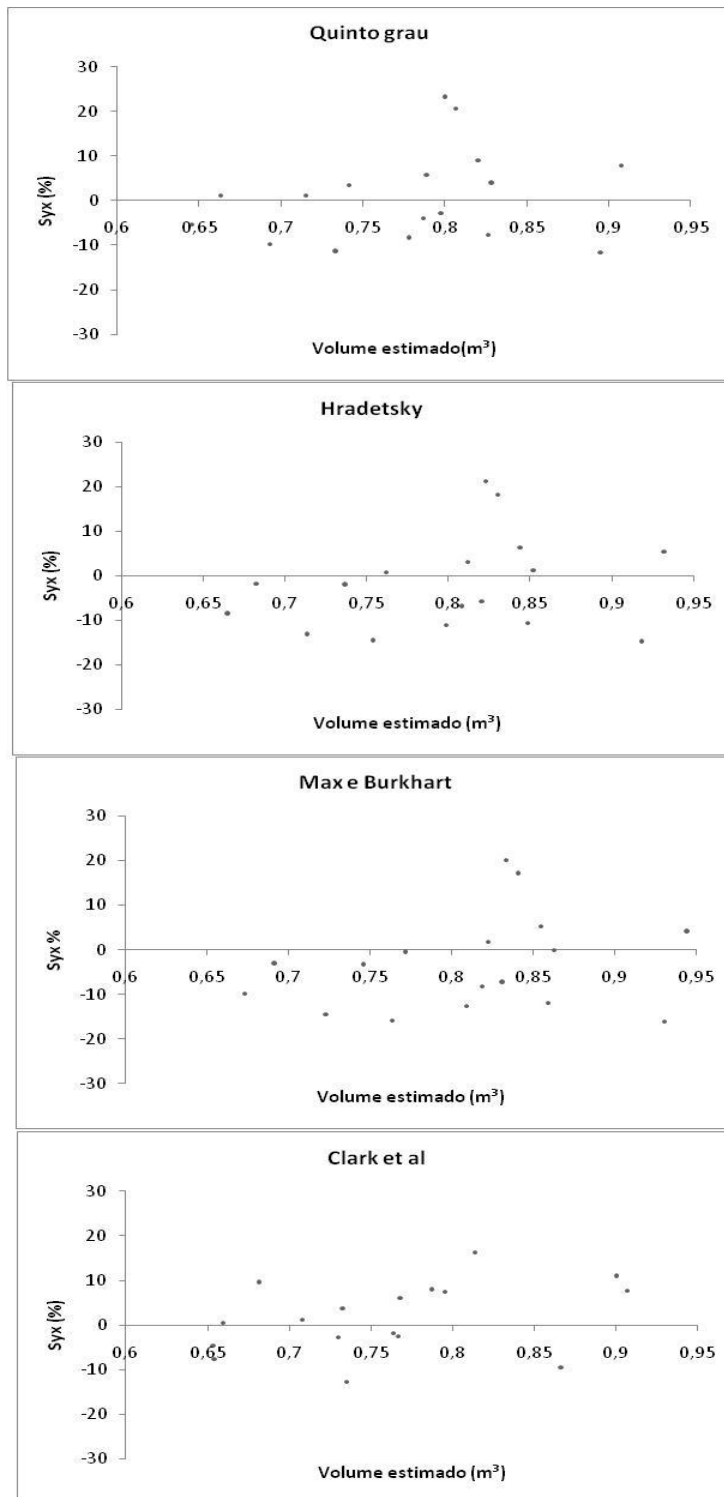


FIGURA 5 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA A CLASSE 3 PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f..

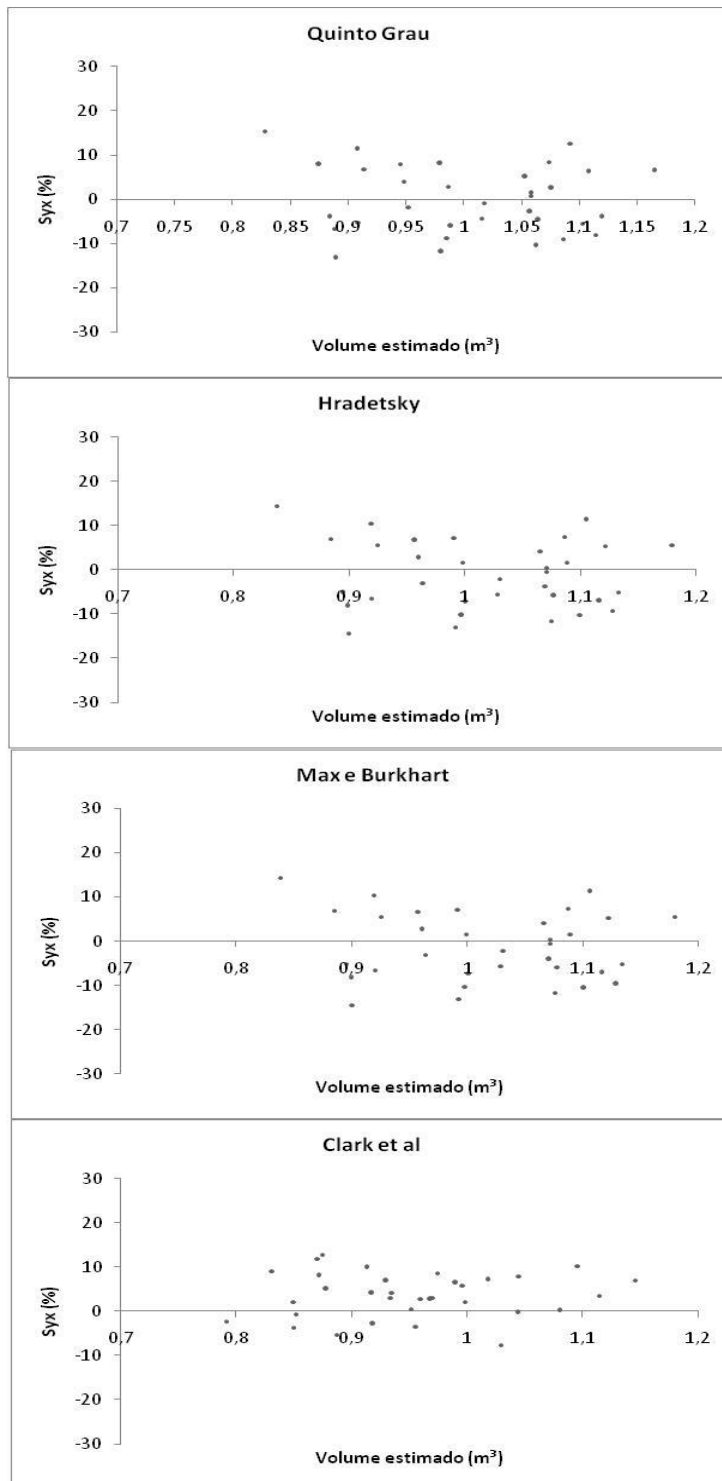


FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA A CLASSE 4 PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f..

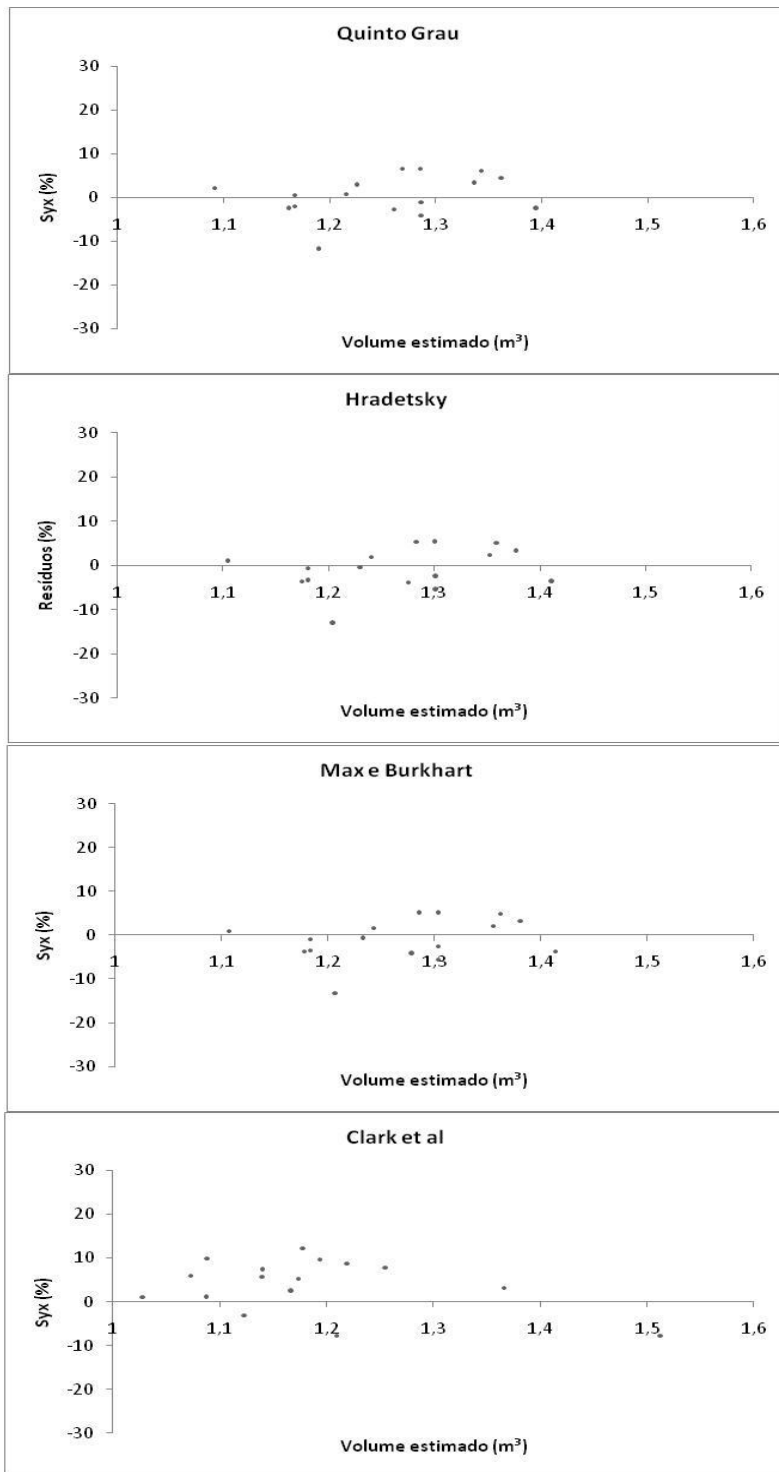


FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS (%) EM FUNÇÃO DO VOLUME ESTIMADO PARA A CLASSE 5 PARA OS MODELOS AJUSTADOS PARA *Tectona grandis* L.f.