



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

RÔMULO MÔRA

**INFLUÊNCIA DA FORMA DE AJUSTE E DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES
NO DESEMPENHO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
FEVEREIRO – 2011

RÔMULO MÔRA

**INFLUÊNCIA DA FORMA DE AJUSTE E DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES
NO DESEMPENHO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais, na área de Concentração Ciências Florestais e Linha de Pesquisa Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memorian*)

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

FEVEREIRO – 2011

Dissertação 0016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M827i Môra, Rômulo, 1987-
Influência da forma de ajuste e do comprimento das seções no
desempenho de funções de afilamento / Rômulo Môra. – 2011.
81 f. : il.

Orientador: Gilson Fernandes da Silva.
Coorientador: Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memorian*).
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal
do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Levantamento florestais. 2. Florestas – Uso múltiplo. 3. Florestas –
Medição. 4. Eucalipto. 5. Pesquisa florestal. I. Silva, Gilson Fernandes da.
II. Souza, Carlos Alberto Martinelli de. III. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 630

INFLUÊNCIA DA FORMA DE AJUSTE DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES NO DESEMPENHO DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO.

Rômulo Môra

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na área de concentração Ciências Florestais.

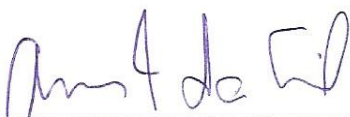
Aprovada em 03 de Fevereiro de 2011.



Prof. Dr. Carlos Pedro Boechat Soares
DEF/CCA/UFV



Prof. Dr. José Franklim Chichorro
DEF/CCA/UFES



Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva
DEF/CCA/UFES (Orientador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS, onisciente, onipresente e onipotente, que sempre me ilumina e me guia em todos os momentos de minha vida.

Ao meu orientador, Professor Gilson Fernandes da Silva, por ter acreditado em mim para desenvolvimento da pesquisa e que gentilmente se propôs a compartilhar do seu vasto conhecimento sobre ciência florestal.

Ao meu coorientador, Professor Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memoriam*), pela confiança depositada e pela amizade construída em pouco tempo de convivência. Agradeço também, pela atenção prestada em todos os momentos necessários na execução deste trabalho.

Ao professor Fabricio Gomes Gonçalves, por ter coletado e cedido gentilmente os dados para a realização deste trabalho e pelas informações prestadas sobre a área de estudo.

Ao professor Edvaldo Fialho dos Reis, que sempre me incentivou na vida acadêmica e pelas lições de vida aprendidas durante estes anos de convívio.

Aos professores do REUNI, Magda Aparecida Nogueira, Bea Karla Flores Machado Teixeira e Maristela de Oliveira Bauer, pela confiança em mim depositada na realização das atividades de auxílio às disciplinas de graduação.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, que de alguma forma deram sua contribuição.

Aos (às) secretários (as) Eliane, Valquíria, Kleriston, Terezinha, Alessandra e aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, por disponibilizar a área de coleta de dados e pelas informações prestadas sobre a caracterização da área de estudo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI, pela concessão da bolsa.

Aos meus Pais, Jacinto e Marlene, peças fundamentais na minha vida, sempre me dando apoio e lutando muito para que eu conseguisse conquistar meus objetivos. A meu irmão Rodrigo, que sempre me deu força na realização do meu sonho.

Às famílias, Moro e Sesana, representadas por avós, tios, primos, madrinha, padrinho, que sempre me incentivaram.

Aos meus amigos de Linhares, Karla, Mirian, Mayron, Eliane, Ariele e Diego, que sempre me deram força para realização deste trabalho e com quem sempre pude contar.

Aos colegas do Laboratório de Mensuração e Manejo Florestal, Leandro, Rafaella, Elter, Ludmila, Raphael, Onair, Ronielly, Ticiane e Hassan, pelo convívio proporcionado neste período.

Aos meus colegas de pós-graduação e graduação, sem citar nomes para não cometer injustiça. Todos foram importantes nesta caminhada.

Aos meus amigos, Pompeu, Dyeime, Huezer, Marcella, Leandro, Rafaella, Samira, Daiene, Daniele, Valéria, Filipe, Jeferson e Daniel, pelos bons momentos convividos e guardados para sempre.

À república Pa'nelas, Heitor, João Rafael, Rodolfo, Rafael, Rômulo Maziero, Ugo e Caio, por esses dois anos de convivência e amizade.

À república Bão Tamém, Dyeime, Marcella, Meire, Daiene, Cida, Bárbara e Surama pelos bons momentos vividos neste período e que nunca serão esquecidos.

À banca examinadora, composta pelos professores José Franklim Chichorro e Carlos Pedro Boechat Soares, pelas sugestões propostas.

[...] nenhum cientista parte de uma tábua rasa, de um ponto zero; nem tampouco o cientista moderno começa duvidando de tudo à maneira de Descartes. Ele inicia a sua investigação com o conjunto de conhecimentos acumulados por seus antecessores e contemporâneos. [...] O direito de discordar é indispensável ao progresso científico, desde que a discórdia seja formulada por participantes qualificados e treinados. [...] Para o cientista nenhuma descoberta e nenhuma lei de comportamento é definitiva. Ciência é um desenvolvimento, contínua revelação.

(Simpson, 1967)

BIOGRAFIA

RÔMULO MÔRA, filho de Jacinto Môra e Marlene Sesana Môra, nasceu em 23 de Fevereiro de 1987, no município de Linhares, no estado do Espírito Santo, Brasil.

Concluiu o Ensino Médio no Colégio Cenecista de Linhares, em 2003. Em 2004, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre-ES, graduando-se em Engenharia Florestal em fevereiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o curso de mestrado do Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Ciências Florestais, na linha de pesquisa Manejo Florestal, na Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2011.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos de afilamento e correspondentes expressões de diâmetro, altura e volume.....	12
CAPÍTULO I	
Tabela 1.1. Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura	27
Tabela 1.2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados.....	32
Tabela 1.3. Valores das estimativas dos parâmetros de cada equação, para o modelo original e expressões de diâmetro e altura.....	33
Tabela 1.4. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de diâmetro a partir do modelo original e da expressão de diâmetro.....	37
Tabela 1.5. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de altura a partir do modelo original e da expressão de altura	40
Tabela 1.6. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de volume a partir do modelo original e da expressão de diâmetro.....	43
CAPÍTULO II	
Tabela 2.1. Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura	54
Tabela 2.2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados.....	58
Tabela 2.3. Valores das estimativas dos parâmetros de cada expressão para as variáveis diâmetro e altura no grupo com influência (G1) e sem influência da base (G2) para os dez níveis de amostragem	59
Tabela 2.4. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de diâmetro para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)	67
Tabela 2.5. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de altura para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)	72
Tabela 2.6. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de volume para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)	78

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.1. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 34
- Figura 1.2. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 35
- Figura 1.3. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 38
- Figura 1.4. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 39
- Figura 1.5. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 41
- Figura 1.6. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. 42

CAPÍTULO II

- Figura 2.1. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com a influência da base. 62
- Figura 2.2. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem sem a influência da base. 64
- Figura 2.3. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com influência da base. 68
- Figura 2.4. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados sem a influência da base. 70
- Figura 2.5. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com influência da base. 74

Figura 2.6. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do <i>dap</i> , para os dez níveis de amostragem analisados sem a influência da base.	76
--	----

SUMÁRIO

RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. OBJETIVO GERAL.....	3
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	4
2.2. CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	5
2.3. CUBAGEM RIGOROSA	5
2.4. FORMA DO TRONCO.....	7
2.5. FUNÇÕES DE AFILAMENTO	9
2.5.1. Classificação das funções de afilamento	10
2.5.2. Principais usos das funções de afilamento.....	14
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO I - ANÁLISE DE DIFERENTES FORMAS DE AJUSTE DE	
FUNÇÕES DE AFILAMENTO	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	26
2.2. CUBAGEM RIGOROSA	26
2.3. MODELOS DE AFILAMENTO TESTADOS	27
2.4. AVALIAÇÃO DOS MODELOS	30
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1. ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS	33
3.2. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A	
VARIÁVEL DIÂMETRO	34
3.3. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A	
VARIÁVEL ALTURA	37
3.4. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A	
VARIÁVEL VOLUME	41
4. CONCLUSÃO	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES NO AJUSTE	
DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO	48
RESUMO	49
ABSTRACT.....	50
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	53
2.2. CUBAGEM RIGOROSA	53
2.3. METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM	54
2.4. AVALIAÇÃO DOS MODELOS	56
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
3.1. ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS	59

3.2. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM...	61
3.3. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL ALTURA NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM	67
3.4. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL VOLUME NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM	73
4. CONCLUSÃO	79
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81

RESUMO

MÔRA, Rômulo. **Influência da forma de ajuste e do comprimento das seções no desempenho de funções de afilamento**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES. Orientador: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memorian*).

Este trabalho teve como objetivo verificar a exatidão e precisão das estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume, considerando as estimativas dos parâmetros obtidos no ajuste do conjunto de dados pelo modelo original e pelas expressões de diâmetro e altura para diferentes modelos de afilamento e comprimento das seções. Para a realização do trabalho, foram cubados 70 fustes do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em espaçamento de 3 x 2 m num talhão de 3,48 hectares com 8 anos de idade em seções de 0,5 m até atingir um diâmetro mínimo de 4 centímetros para o estudo das funções de afilamento. Para verificar a influência do comprimento das seções, todos os fustes foram medidos em dez comprimentos de seções diferentes correspondentes a 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, 4,5 m e 5 m, começando da seção de 0,0 m até o diâmetro mínimo de 4 centímetros e separados em dois grupos, um considerando a influência da base e outro não. Os modelos utilizados na comparação das estimativas foram Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod. No estudo da influência do comprimento das seções, utilizou-se o modelo de Demaerschalk nos diferentes comprimentos de seções analisadas. A precisão e acurácia das estimativas foram verificadas através da análise gráfica dos resíduos, do coeficiente de determinação (R^2), do erro padrão da estimativa ($Syx(\%)$), do viés (V), da média das diferenças (MD) e do desvio padrão das diferenças (DPD). Baseado nessas estatísticas foi feita uma classificação para determinar o modelo que propiciasse melhores estimativas das variáveis pelas diferentes formas de ajuste e comprimento das seções, estimando assim resultados mais exatos para as variáveis analisadas. As estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume foram obtidas de maneira mais precisa para o modelo de Demaerschalk, considerando as estimativas dos parâmetros obtidos das expressões das variáveis diâmetro e altura em relação às estimativas baseadas nas estimativas dos parâmetros do modelo original. No estudo da influência do comprimento das seções, pode-se constatar que à medida em que se diminui o número de seções medidas no fuste, verifica-se a presença de tendência das estimativas das variáveis analisadas para os dois grupos. Comparando os resultados do grupo, com e sem influência da base, nota-se que as estimativas com influência são melhores, fato observado principalmente para a variável volume.

Palavras chave: funções de afilamento, comprimento das seções, precisão

ABSTRACT

MÔRA, Rômulo. **Influence of the adjustment form and the sections length in the performance of taper functions**. 2011. Dissertation (Master's degree in Forest Science) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro-ES. Adviser: Prof. Dr. Gilson Fernandes da Silva. Co-adviser: Prof. Dr. Carlos Alberto Martinelli de Souza (*in memoriam*).

This work had as objective to verify the accuracy and precision of estimates of diameter, height and volume variables, considering the estimates of the parameter obtained in the adjustment of data set by the original model and the expressions in diameter and height for different taper models and sections length. To conduct the study, 70 stems of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* hybrid were cubed in a spacing of 3 x 2 m, in a stand of 3,48 hectares with 8 years-old, in sections of 0,5 m until they reach a minimum diameter of 4 cm for the study of taper functions. To check the influence of the sections length, all stems were measured in ten different sections lengths corresponding to 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, 4,5 m and 5 m, starting from the section of 0,0 m to a minimum diameter of 4 cm and separated into two groups, one considering the influence of the base and the other not. The models used in the comparison of the estimates are the ones proposed by Baldwin, Demaerschalk, Kozak and Ormerod. In the study of the sections length influence, it was used the model proposed by Demaerschalk in the different analyzed sections lengths. The precision and accuracy of the estimates were verified by graphic analysis of the waste, the determination coefficient (R^2), estimated standard error ($Syx(\%)$), bias (V), average of the differences (MD) and standard deviation of the differences (DPD). Based on these statistics, a classification was made to determine the model that would provide better variables estimates by different types of adjustment and sections length, estimating more accurate results for the analyzed variables. Diameter, height and volume variables estimates were obtained more accurately for the Demaerschalk model, considering the parameters estimates obtained from the expressions of the diameter and height variables in relation to estimates based on parameters estimates of the original model. In the study of the influence of the sections length, it can be seen that as the number of sections measures in the stem decreases, it becomes possible to verify the presence of tendency of the variables estimates for both groups. Comparing the results of the group, with and without influence of the basis, it is noted that the estimates with influence are better, which was observed mainly to the volume variable.

Keywords: taper functions, sections length, precision

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas no Brasil integram grande parte do cenário econômico, social e ambiental do país. Segundo a Associação Brasileira de Florestas Plantadas (ABRAF, 2010), a área de floresta plantada no Brasil no ano de 2009 correspondeu a 6,31 milhões de hectares, sendo 4,5 milhões de hectares plantados com o gênero *Eucalyptus*. Entre os fatores que favorecem o plantio desse gênero estão o rápido crescimento em ciclo de curta rotação, a alta produtividade florestal, a expansão e o direcionamento de novos investimentos por parte de empresas de segmentos que utilizam sua madeira como matéria prima em processos industriais.

Os plantios florestais das empresas juntamente com o fomento florestal têm se mostrado um mecanismo eficiente na ampliação da base florestal para o abastecimento de matéria-prima em empreendimentos dos segmentos madeireiro, de papel, celulose e energético. (ABRAF, 2010).

A madeira de eucalipto, por sua vez, é largamente utilizada nos florestamentos e reflorestamentos para aproveitamento como fonte energética (energia da biomassa), produção de celulose, aglomerado, construção civil e madeira serrada, destacando-se o uso dos multiprodutos florestais.

Para condicionar a utilização dos multiprodutos, deve-se ficar atento à forma do fuste para o conhecimento dos volumes e das dimensões dos sortimentos, possibilitando assim o planejamento e verificando a viabilidade econômica do povoamento, visto que, quando um empreendimento fica detentor de apenas um produto, este fica refém das oscilações de mercado (SOUZA, 2007). Dessa forma, segundo Angelo et al. (1995), a maximização da renda proveniente do uso de florestas comerciais tem sido a preocupação de muitos investigadores florestais, de modo que a diversificação de produtos é um parâmetro essencial no desenvolvimento florestal, propiciando diferentes usos para o fuste da árvore.

Para a determinação dos diversos usos da madeira, torna-se necessário o conhecimento sobre a forma das árvores o qual determinará a metodologia de cubagem mais adequada para cada caso. Essa variação das árvores ocorre devido ao afilamento do diâmetro da base para o topo,

influenciando no volume do fuste, podendo essa variação ser ocasionada pela espécie, idade, espaçamento e qualidade do sítio. (MÜLLER, 2004)

Como os mercados estão cada vez mais exigentes por produtos diversificados e de qualidade (LEITE et al., 2006) e como os produtos florestais não fogem a essa situação, faz-se necessário utilizar técnicas de quantificação e qualificação desses produtos, entre as quais se têm os modelos de afilamento (SOUZA et al., 2008).

A avaliação de multiprodutos da madeira de árvores exige uma descrição do perfil de seus fustes, ou seja, requer a determinação ou estimativa de diâmetros ao longo do fuste, através de equações de afilamento ou *taper* (HUSCH et al., 2003).

Na quantificação de multiprodutos, podem ser utilizados modelos de razão volumétrica, modelos de afilamento ou modelos volumétricos múltiplos (BURKHART, 1977, MATNEY e SULLIVAN, 1980, citado por MATNEY et al., 1985, AMATEIS e BURKHART, 1987, ALEMDAG, 1988, BALDWIN E FEDUCCIA, 1991, DEMAERSCHALK, 1973, MAX e BURKHART, 1976, GORKESIAH e DEMAERSCHALK, 1980, NEWNHAM, 1988, KOZAK, 1988, PETERSSON, 1999, LEITE et al., 1995).

É um fato claro que equações de afilamento são mais atrativas de uso em manejo florestal, por permitirem o sortimento de uma árvore, para diferentes comprimentos de toras, em um mesmo diâmetro comercial ou para um mesmo comprimento de toras com diferentes diâmetros comerciais. Isso implica em conhecer o volume e o número de toras em uma árvore. Essa vantagem foi mencionada ou pode ser observada em alguns trabalhos, por exemplo, Newberry e Burkhart (1985), Czaplewski et al. (1989a e 1989b), Baldwin e Feduccia (1991), Gál e Bella (1994), Schneider et al. (1996), Angelo et al. (1995), Drescher et al. (1999), Muhairwe (1999).

Segundo Husch et al. (1993), os modelos de afilamento são ferramentas valiosas para a utilização em multiprodutos, tendo em vista sua flexibilidade em estimar o diâmetro para qualquer altura do tronco, a altura comercial relativa a um diâmetro, bem como estimar o volume parcial ou total do fuste, via integração da área das seções do tronco.

1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de diferentes formas de ajuste e do comprimento das seções na precisão e exatidão das variáveis diâmetro, altura e volume por meio do desempenho de funções de afilamento.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Ajustar as funções de afilamento considerando os modelos originais e isolando as variáveis diâmetro e altura;

b) Avaliar as estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume através dos ajustes das equações referentes aos modelos originais e isolando as variáveis diâmetro e altura;

c) Avaliar a influência do comprimento das seções e das medidas tomadas na base da árvore no ajuste de funções de afilamento nas estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Brasil, atualmente, é um dos principais produtores e exportadores mundiais de celulose, apresentando algumas vantagens em relação aos países concorrentes nessa produção. Destaca-se como vantagem a disponibilidade de grandes áreas com possibilidade de reflorestamento, as menores idades de corte em relação às idades de outros grandes produtores e o baixo custo de madeira e de mão de obra em várias regiões do país (SOUZA, 2007).

Além da celulose, outros produtos florestais estão em uso no país como geração de energia de biomassa, produtos sólidos de madeira, chapas, geração de vapor. Dessa forma, segundo Souza et al. (2008), os fustes estão sendo maximizados produzindo os multiprodutos e aumentando o valor da produção. Para atender toda essa demanda, a maior parte dos produtos advindos é oriunda de plantios com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, diminuindo assim o uso de madeira das florestas naturais. Essas florestas plantadas, geralmente, estão vinculadas a empreendimentos empresariais, nos quais a robustez do negócio e a agregação de renda são cada vez maiores.

Para Assis et al. (2002), a necessidade de otimização do uso dos recursos florestais, dentro do conceito de múltiplos produtos da madeira, tem justificado e estimulado a realização de importantes estudos sobre o assunto. Esses mesmos autores dizem que a aplicabilidade desses estudos é clara, principalmente, sob o ponto de vista do planejamento da produção de grandes empresas do setor florestal em que é fundamental garantir o fluxo contínuo de matéria-prima e a viabilidade econômica da atividade. Essas florestas quando bem manejadas e direcionadas para obter múltiplos produtos advindos da madeira garantem a maximização dos lucros na medida em que são adotadas práticas com o objetivo de agregar valor à madeira. Além disso, a obtenção de múltiplos produtos reduz o impacto das oscilações do mercado sobre cada produto individualmente.

2.2. CARACTERÍSTICAS DO GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, pertencente à família Myrtaceae, é um dos gêneros mais promissores para uso em produtos florestais, devido, principalmente, ao seu rápido crescimento e às tecnologias desenvolvidas para produção quando comparado a outras espécies. O maior conhecimento tecnológico da produção do gênero *Eucalyptus* sp. está permitindo uma visão mais otimista quanto à utilização do gênero, além de ser representado por árvores com alta taxa de crescimento, plasticidade, forma retilínea do fuste, desrama natural e madeira com variações nas propriedades tecnológicas, adaptadas às mais variadas condições de uso (OLIVEIRA et al., 1999). Logo, a maior parte das substituições de madeira de floresta natural pela floresta do gênero *Eucalyptus* estão relacionados ao preço e à dificuldade de obter outros tipos de madeira. (SERPA et al., 2003).

2.3. CUBAGEM RIGOROSA

O termo cubagem ou cubicagem designa o cálculo do volume do material lenhoso de uma árvore, uma pilha ou um povoamento florestal, sendo utilizado, para tanto, métodos de medição direta, indireta, estimativa equacional, entre outros (SILVA et al., 2006).

Para obter o volume de povoamentos ou parcelas, são utilizados modelos hipsométricos em conjunto com modelos volumétricos, de afilamento ou de múltiplos volumes. Para obter as equações desses modelos, executa-se a cubagem rigorosa em árvores-amostra (LEITE e ANDRADE, 2002). Essa cubagem, conforme FAO (1973), citada por Belchior (1996), é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco, dividindo-o em seções.

Segundo Campos e Leite (2009), a frequência dos dados de cubagem está diretamente relacionada com a variação em diâmetro e forma das árvores do povoamento em estudo. Esses autores esclarecem que para melhor atendimento dessa variação, as árvores amostras devem abranger todas as

classes de diâmetro à altura do peito (*dap*) a partir de um diâmetro mínimo especificado. Dessa forma, devem ser cubadas árvores em toda área da floresta, para que a população seja bem representada.

Há vários métodos de obtenção do volume dos fustes das árvores, entretanto, o método de cubagem por meio do xilômetro é o único que fornece o valor paramétrico do volume, ou seja, o volume verdadeiro. Os demais métodos de cubagem conhecidos resultam do uso de expressões matemáticas que estimam com certa acurácia o valor paramétrico do volume do fuste da árvore ou parte dele (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006).

Scolforo e Figueiredo (1998) dividem os métodos de cubagem rigorosa em dois tipos:

a) Os métodos de cubagem absolutos em que o tamanho das seções é fixo não importando a altura da árvore. Exemplo: Smalian, Huber e Newton.

b) Os métodos de cubagem relativos em que os tamanhos das seções variam conforme o valor da altura total ou comercial da árvore. Exemplo: Hohenadl e FAO.

Segundo Machado e Figueiredo Filho (2003), as árvores cubadas por algum dos métodos acima citados, normalmente destinam-se para o estudo de fatores de forma ou para o desenvolvimento de equações de volume ou funções de afilamento. Esses mesmos autores sugerem que algumas recomendações importantes no processo de cubagem devem ser levadas em consideração:

a) Seja qual for o método empregado, o *dap* com casca e a altura total devem ser sempre medidos.

b) Podem-se utilizar seções de comprimentos variáveis ou fixos, sendo estes últimos, mais adotados pelas facilidades computacionais. No entanto, melhores resultados poderiam ser obtidos variando-se os comprimentos sobre a árvore de acordo com as mudanças na forma do fuste.

c) As seções frequentemente têm 1 a 2 metros de comprimento. Seções menores são indicadas para a base dos troncos onde há evidente maior variação da forma e também um percentual maior de volume.

d) Sendo o método de Hohenadl dependente da altura, é recomendável o uso de pontos (percentuais de altura), que resultem seções inferiores a 2

metros. Na base, as distâncias entre os pontos medidos poderiam ser mais próximos.

e) Quando se pretende desenvolver funções de afilamento, recomenda-se o uso do método relativo, pois independente das alturas das árvores, uma mesma quantidade de pontos serão medidos ao longo do tronco, facilitando a comparação da forma de troncos com dimensões diferentes. Esse método elimina também os erros de sistematização que podem ocorrer quando seções absolutas iguais são tomadas em todas as árvores amostradas.

Esses mesmos autores concluem ainda que, no Brasil, a fórmula de Smalian tem sido, tradicionalmente, a mais usada nos levantamentos florestais, empregando-se seções curtas até 2 m de altura e seções de 1 ou 2 m no restante do tronco, mais pela praticidade do emprego que por questões de acurácia. Já, mais recentemente, o método relativo de Hohenadl, com 10 ou mais seções, tem ganhado espaço e tem sido preferido, principalmente, quando a medição dos troncos objetiva também o desenvolvimento de funções de afilamento.

2.4. FORMA DO TRONCO

No Brasil, estudos sobre a modelagem da forma de árvores, em sua grande maioria, estão relacionados a florestas plantadas com uma única espécie, como *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* (CAMPOS e RIBEIRO, 1982; GUIMARÃES e LEITE, 1992; SCHNEIDER et al., 1996).

Devido a isso, intensas pesquisas biométricas têm sido desenvolvidas, com o objetivo de alcançar a otimização na classificação e valorização dos produtos florestais, segundo sua qualidade, dimensões e possibilidade de utilização. Independente das irregularidades das seções transversais dos troncos, as árvores possuem determinado tipo de forma que varia com a espécie, em função de vários fatores, tais como: sítio, densidade do povoamento e intervenções silviculturais aplicadas ao povoamento (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008).

O fuste das árvores apresenta formas bastante variáveis, 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 citado por PEREIRA et al., 2005; LARSON, 1963; FINGER et al., 1995).

O estudo da forma da árvore torna-se interessante nesse processo de produção florestal. Segundo, Husch et al. (2003), a forma do fuste é definida pela taxa de decréscimo do diâmetro (d), em relação ao diâmetro à altura do peito (dap), ao longo do tronco. No Brasil, essa relação denomina-se afilamento do fuste.

Desse modo, o estudo da forma do fuste de árvores é feito por meio de modelos de regressão, alguns já consagrados como os modelos propostos por Kozak et al. (1969), Demaerschalk (1972), Ormerod (1973), Garay (1979), Biging (1984). Apesar da existência desses e de muitos outros modelos, não existe um que seja eficiente em todos os casos, ou seja, para qualquer amostra de dados.

Vários autores, como Chapman e Meyer (1949), Loetsch et al. (1973) e Husch et al. (2003) concluíram que a forma do tronco é basicamente descrita com um neiloide na base, um parabolóide no meio e um cone no topo.

Segundo Borges (1981), do ponto de vista dendrométrico, a forma do fuste de árvores, genericamente, é a sua configuração externa que, a rigor, não se identifica com a forma de um sólido geométrico específico, mas sim com várias formas, segundo a posição considerada no tronco. De maneira restrita, a forma do fuste pode ser associada ao termo “afilamento”, que representa a redução do diâmetro com o aumento da altura, tendência natural que ocorre na maioria das espécies e que, como tal, pode ser expressa como uma função matemática que descreve a tendência dessa variação. O afilamento do tronco ou “*taper*” tem sido definido como o decréscimo em diâmetro a partir da base do fuste para a sua extremidade superior (ápice).

2.5. FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Segundo Figueiredo Filho et al. (1996), a primeira tentativa de análise para representar a forma de árvores foi feita por Hojer em 1903. Desde então, muitas formas e tipos de modelo de perfil tronco foram testados. Logo no início, os modelos eram relativamente simples, mas com o advento dos computadores, modelos mais complexos foram utilizados para gerar funções de afilamento, de modo que estimativas mais realistas poderiam ser feitas.

Ainda, segundo esses autores, até meados da década de 1970, pesquisadores estavam tentando expressar todo o perfil do tronco por meio da utilização de uma única equação. Muitos exemplos desse tipo foram desenvolvidos, mas frequentemente elas não descrevem o perfil do tronco inteiro. Elas descrevem o perfil entre a base e a ponta da árvore, mas são insuficientes para descrever a área perto da base do fuste. Por isso, procedimentos alternativos foram investigados. Max e Burkhart (1976) foram os primeiros a aplicar modelos de regressão segmentada para a modelagem do fuste.

De acordo com Ahrens (1982) e Figueiredo-Filho et al. (1993), a utilização de funções de forma de tronco, no Brasil, pode ser datada a partir dos anos setenta.

Os modelos de afilamento são relações funcionais que permitem descrever o perfil longitudinal de um tronco. São funções consideradas dinâmicas, porque possibilitam a estimativa do diâmetro (d) de dada altura (h) e a altura a qualquer diâmetro especificado, como também servem para fazer o sortimento e estudar a evolução da forma da árvore ao longo de sua vida (KOZAK et al., 1969).

Segundo Campos e Leite (2009), afilamento é o termo aplicado ao decréscimo do diâmetro ao longo do fuste. Havendo uma definida regularidade na mudança desse diâmetro, o perfil do tronco pode ser expresso por funções denominadas funções de afilamento. A partir dessas funções, é possível estimar o diâmetro em qualquer altura do fuste. Essas equações permitem por transformações algébricas, estimar o volume de qualquer seção, além de qualquer altura num diâmetro definido.

Ahrens e Holbert (1981) definem então função de afilamento como 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.

De maneira simples, Prodan (1997) diz que os 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 diâmetro limite especificado no fuste e o volume entre pontos quaisquer do fuste.

2.5.1. Classificação das funções de afilamento

Os modelos de afilamento podem ser classificados de acordo com observações de alguns autores.

Dentre os vários modelos estudados e conhecidos, Lima (1986) caracterizou os seguintes modelos:

a) Polinomiais: a variável dependente é dada pela razão entre os diâmetros superiores e o diâmetro medido a 1,30 m do solo (d/d_{ap}) ou, algumas vezes, a variável dependente é expressa pelo quadrado da razão desses diâmetros $(d/d_{ap})^2$. As variáveis independentes são expressas por razões de alturas comerciais e total (h/ht), principalmente como apresentado por Kozak et al. (1969).

b) Sigmoidais: funções que permitem pontos de inflexão, bem como apresentam características de grande flexibilidade no ajuste dos dados observados de diferentes relações biológicas. Essas equações normalmente são derivadas da função de Chapman-Richards e são apresentadas por Garay (1979) e Biging (1984).

c) Compatíveis: assim chamados em razão da compatibilidade nas estimativas entre equações de afilamento e equações de volume. A

compatibilidade é verificada integrando-se as áreas seccionais ao longo do tronco, produzindo estimativas semelhantes às aquelas obtidas pela equação de volume, do qual a equação de afilamento foi derivada. Um procedimento compatível com equações de volume foi desenvolvido por Demaerschalk (1971 e 1972).

Já Guimarães e Leite (1992) e Garcia et al. (1993) citam que os modelos estatísticos, para descrever o perfil de troncos de árvores, passaram a ser ferramentas importantes na obtenção de estimativas das variáveis dendrométricas de partes do tronco. Dentre os principais modelos empregados e estudados, incluem-se:

a) Modelos Polinomiais: são aqueles baseados principalmente na comparação entre a variável dependente (d/dap) ou $(d/dap)^2$ e os polinômios formados pela variável independente (h/ht);

b) Modelos Sigmoidais: utilizam transformações de variáveis de modo que o modelo se assemelha à forma natural dos troncos. Tratam-se de expressões matemáticas que geram um perfil semelhante a uma curva sigmoide;

c) Modelos Segmentados: consistem no uso de submodelos justapostos, cada um representando uma porção do tronco. A união dos submodelos se dá por meio da imposição de restrições ao modelo geral (Funções Spline, nas quais predominam a cúbica e a quadrática);

d) Modelos definidos por Análise Multivariada: baseiam-se na aplicação de análise multivariada (análise de componentes principais) para investigar as variações existentes na estrutura dos dados e definir o modelo de regressão a ser utilizado para descrever o perfil do tronco.

Como procedimento alternativo, Max e Burkhart (1976) utilizaram a regressão para modelar a forma do tronco. Usando o método de Max e Burkhart, o caule é dividido em três seções que são representados por três submodelos separados, que depois são unidos para juntamente com dois pontos de junção produzir uma função de forma geral de polinômios segmentados.

Tendo em vista as possibilidades apresentadas, encontra-se na literatura uma variedade de expressões de afilamento ou *taper*, com suas

respectivas relações funcionais de funções de afilamento, conforme Tabela 1 adaptada de Campos e Leite (2009) e Souza (2007).

Tabela 1. Modelos de afilamento e correspondentes expressões de diâmetro, altura e volume

Modelo	Autor
$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{ht}\right)^2 + \varepsilon$ $\hat{d} = dap \sqrt{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \left(\frac{h}{ht}\right) + \hat{\beta}_2 \left(\frac{h}{ht}\right)^2}$ $\hat{h} = \frac{-\hat{\beta}_1 ht \sqrt{(\hat{\beta}_1 ht)^2 \hat{\beta}_0 - 4 \hat{\beta}_2 (\hat{\beta}_0 ht^2 - \frac{d^2 ht^2}{dap^2})}}{2 \hat{\beta}_2}$ $\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[\hat{\beta}_0 (h_2 - h_1) + \frac{\hat{\beta}_1}{2ht} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{\hat{\beta}_2}{3ht^2} (h_2^3 - h_1^3) \right]$	Kozak et al. (1969)
$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = 10^{2\beta_0} DAP^{(2\beta_1-2)} (ht-h)^{2\beta_2} ht^{2\beta_3} + \varepsilon$ $\hat{d} = 10^{\hat{\beta}_0} dap^{\hat{\beta}_1} (ht-h)^{\hat{\beta}_2} ht^{\hat{\beta}_3}$ $\hat{h} = ht - \left[\frac{d}{10^{\hat{\beta}_0} DAP^{\hat{\beta}_1} ht^{\hat{\beta}_2}} \right]^{\left(\frac{1}{\hat{\beta}_3}\right)}$ $\hat{V} = \frac{\pi}{40000} 10^{2\hat{\beta}_0} dap^{2\hat{\beta}_1} ht^{2\hat{\beta}_2} \left[\frac{(ht-h_1)^{2\hat{\beta}_3+1} - (ht-h_2)^{2\hat{\beta}_3+1}}{2\hat{\beta}_3+1} \right]$	Demaerschalk (1972)
$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \left(\frac{ht-h}{ht-1,3}\right)^{2\beta_1} + \varepsilon$ $\hat{d} = dap \left(\frac{ht-h}{ht-1,3}\right)^{\hat{\beta}_1}$ $\hat{h} = ht - \left\{ \left(\frac{d}{dap}\right)^{\frac{1}{\hat{\beta}_3}} [ht-1,3] \right\}$ $\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left(\frac{1}{ht-1,3}\right)^{2\hat{\beta}_1} \left[\frac{(ht-h_1)^{2\hat{\beta}_1+1} - (ht-h_2)^{2\hat{\beta}_1+1}}{2\hat{\beta}_1+1} \right]$	Ormerod (1973)
$\frac{d}{dap} = \beta_1 + \beta_2 \ln \left[1 - \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-\beta_1}{\beta_2}} \right) \right] + \varepsilon$ $d = dap \left\{ \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \ln \left[1 - \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \left(1 - \exp^{\frac{-\hat{\beta}_1}{\hat{\beta}_2}} \right) \right] \right\}$ $\hat{h}$ é obtido por meio de métodos iterativos $\hat{V}$ é obtido por aplicação sucessiva de fórmulas aproximativas	Biging (1984)

Continua...

Tabela 1, Continuação:

$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{\frac{h}{ht}} + \beta_2 \frac{h}{ht} + \varepsilon$ $\hat{d} = dap \sqrt{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{2}} + \hat{\beta}_2 \frac{h}{ht}}$ $\hat{h} = \frac{-d^2 + \hat{\beta}_0 dap^2 + \left[\frac{0,5\hat{\beta}_1 \left(-\hat{\beta}_1 dap \pm \sqrt{\hat{\beta}_1^2 dap^2 + 4\hat{\beta}_2 d^2 - 4\hat{\beta}_2 \hat{\beta}_0 dap^2}\right) dap}{\hat{\beta}_2} \right] ht}{\hat{\beta}_2 dap^2}$ $\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[\hat{\beta}_0 (h_2 - h_1) + \frac{2\hat{\beta}_1}{3ht^{\frac{1}{2}}} \left(h_2^{\frac{3}{2}} - h_1^{\frac{3}{2}} \right) \frac{\hat{\beta}_2}{2ht} (h_2^2 - h_1^2) \right]$	Garcia et al. (1993)
$\frac{d}{dap} = \beta_0 [1 + \beta_1 \ln(1 - \beta_2 h^{\beta_3} ht^{-\beta_3})] + \varepsilon$ $\hat{d} = dap \hat{\beta}_0 [1 + \hat{\beta}_1 \ln(1 - \hat{\beta}_2 h^{\hat{\beta}_3} ht^{-\hat{\beta}_3})]$ $\hat{h} = ht \left\{ \left[-\exp \left[(d - dap \hat{\beta}_0) (dap \hat{\beta}_0 \hat{\beta}_1)^{-1} \right] - 1 \right] \hat{\beta}_2^{-1} \right\}^{\frac{1}{\hat{\beta}_3}}$ $\hat{V}$ é obtido por aplicação sucessiva de fórmulas aproximativas	Garay (1979)
$\left(\frac{d}{dap}\right) = \beta_1 + \beta_2 \left[\ln 1 - t \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + \varepsilon$ $\hat{d} = dap \left\{ \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \left[\ln 1 - t \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \right] \right\}$ $\hat{h} = ht \left\{ 1 - \exp \left[\left((d/dap) - \hat{\beta}_1 \right) / \hat{\beta}_2 \right] / t \right\}^3$ $\hat{V} = K dap^2 ht \left\{ \hat{\beta}_1^2 (h_2 - h_1) / ht + 2\hat{\beta}_1 \hat{\beta}_2 (3/t^3) [a(p_x - q_x \ln a) - b(p_y - q_y \ln b)] - \hat{\beta}_2^2 (3/t^3) [a q_x (\ln a)^2 - 2a p_x \ln a + 2a r_x - b q_y (\ln b)^2 + 2b p_y \ln b - 2b r_y] \right\}$ $t = 1 - \exp \left(\frac{-\beta_1}{\beta_2} \right)$ $c = \frac{1}{3}$ $a = 1 - t(h_2/ht)^c$ $b = 1 - t(h_1/ht)^c$ $p_x = 1 - \frac{a}{2} + \frac{a^2}{9}$ $p_y = 1 - \frac{b}{2} + \frac{b^2}{9}$ $q_x = 1 - a + \frac{a^2}{3}$ $q_y = 1 - b + \frac{b^2}{3}$ $r_x = 1 - \frac{a}{4} + \frac{a^2}{27}$ $r_y = 1 - \frac{b}{4} + \frac{b^2}{27}$	Baldwin (1991)

Continua...

Tabela 1, Continuação:

$\frac{d}{dap} = \{[\beta_2 - \ln[(h - \beta_1)/h] \beta_3]^{\beta_3}\} ht^{-1} + \varepsilon$	Pires e Calegário (2007)
$\hat{d} = dap \left\{ [\hat{\beta}_2 - \ln[(h - \hat{\beta}_1)/h] \hat{\beta}_3]^{\hat{\beta}_3} \right\} ht^{-1}$	
$\hat{h} = \hat{\beta}_1 \left[1 + \exp^{-\left(\frac{ht}{dap} - \hat{\beta}_2 \right) / \hat{\beta}_3} \right]^{-1}$	
$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 ht^{-2} (\hat{\beta}_2 - \ln(-(h_2 - \hat{\beta}_1)/h_2))^2 - (\hat{\beta}_2 - \ln(-(h_1 - \hat{\beta}_1)/h_1))^2$	

d = diâmetro na altura h ; ht = altura total; β_i = parâmetros do modelo de afilamento, com $i = 0, 1, \dots, n$; ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$

2.5.2. Principais usos das funções de afilamento

Segundo Guimarães e Leite (1992), o uso de funções de afilamento é uma técnica já bastante difundida nos países com maior tradição florestal, em que constitui fator importante nas decisões de manejo e planejamento florestal e, portanto, na maximização do aproveitamento da madeira produzida.

As aplicações dessas funções se constituem em um poderoso instrumento para avaliar biológica e economicamente o maciço florestal e a resposta às práticas de manejo executadas, já que permite valorar de maneira detalhada quanto renderá o povoamento florestal (FISCHER, et al., 2001).

Vários autores, dentre os quais Ahrens (1982) e Schneider (1993), citam que as funções de forma de tronco atuam como ferramenta para predizer o diâmetro em qualquer ponto do tronco a partir de uma ou duas variáveis medidas. Essas funções passaram a ser utilizadas também para estimar o volume do povoamento e construir tabelas de volume e sortimento para diferentes limites de dimensões de toras impostos pelo mercado.

O estudo do sortimento de povoamentos de florestas de produção (nativas ou plantadas) é uma das ferramentas importantes no planejamento da utilização dos recursos florestais e na avaliação do manejo empregado, em razão de permitir a quantificação da matéria-prima, classificando-a de acordo com as dimensões e qualidade, para os múltiplos usos da madeira (FISCHER, 1997).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico da ABRAF: Ano base 2009**. Brasília: ABRAF, 2010, 140 p.

AHRENS, S. Análise de componentes principais e a simulação da forma do tronco. In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais: o uso de funções de forma de tronco em estudos de volumetria de espécies florestais, 5., 1982, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA, URPFCS, p. 77-92, 1982.

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. In: **Boletim de pesquisa florestal**, n.3, p. 37 – 68, 1981.

ALEMDAG, I.S. A ratio method for calculating stem volume to variable merchantable limits, and associated taper equations. **Forestry Chronicle**, Ottawa, v.64, p.18-25, 1988.

AMATEIS, R.L.; BURKHART, H.E. Cubic-foot volume equations for loblolly pine trees in cutover site-prepared plantations. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.11, n.4, p.190-192, 1987.

ANGELO, H.; CASTRO, L. H. R.; HOSOKAWA, R. T.; KIRCHNER, F. F. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de *Pinus tropicais*. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 25, n. 12, p. 55-67, 1995.

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

BALDWIN JR, V. C.; FEDUCCIA, D. P. Compatible Tree-volume and upper-stem diameter equations for plantation Loblolly Pines in the West Gulf region. South. **Journal Applied Forestry**, v. 15, n. 2, p. 92-97, 1991.

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

BIGING, G. S. Taper equations for second mixed-conifers of Northean California. **Forest Science**, v.30, n.4, p.1103-1117, 1984.

BORGES, J. F. Seccionamento do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada através da função de forma polinomial. **Revista Floresta**, v.13, n. 1, p.24-25, 1981.

BURKHART, H.E. Cubic-foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.1, p.7-9, 1977.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 3.ed, 548 p., 2009.

CAMPOS, J. C. C.; RIBEIRO, J. C. Avaliação de dois modelos de *taper* em árvores de *Pinus patula*. **Revista Árvore**, v.6, n.2, p.140-149, 1982.

CHAPMAN, H. H.; MEYER, W. H. **Foresta mensuration**. New York: McGraw-Hill, 522 p., 1949.

CZAPLEWISKI, R.L., BROWN, A.S., WALKER, R.C. Profile models for estimating log end diameters in the Rocky Mountain Region. **USDA Forest Service** (RM-284), 7p, 1989b.

CZAPLEWISKI, R.L., BROWN, A.S., GUENTHER, D.G. Estimating merchantable tree volume in Oregon and Washington using stem profile models. **USDA Forest Service** (RM-286), 15p, 1989a.

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

DEMAERSCHALK, J. P. Taper equations can be converted volume equations and point sampling factors. **Forestry Chronicle**, v.47, n.6, p.352-354, 1971.

DEMAERSCHALK, J.P. Integrated systems for the estimation of tree taper and volume. **Canadian Journal of Forest Research**. v.3, n.1, p.90-4, 1973.

DRESCHER, R, SCHNEIDER, 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.

FIGUEIREDO FILHO, A., OLIVEIRA, C.G., MOURA, J.B. et al. Conservação de equações de volume em equações de forma compatíveis para *Pinus elliottii*. In: Congresso Florestal Panamericano, 1., Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS/SBEF, p. 501-504, 1993.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n. 83, p. 39-46, 1996.

FINGER, C.A.G., ZANON, M.L.B., SCHNEIDER, P.R.; KLEIN, J. E. M.; COELHO, M. C. B. 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. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Program de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; 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**, v. 11, n. 1, p. 167-188, 2001.

GÁL, J., BELLA, I.E. New stem taper functions for 12 Saskatchewan timber species. **Canadian Forest Service**, Edmonton, Inf. Rep. NOR-X-338, 25p., 1994.

GARAY, L. Tropical forest utilization system. VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Seattle: Coll. **Forest. Resour.**, Inst. Forest Prod. Univ. Wash., 64 p, 1979. (Contrib. 36).

GARCIA, S.L.R.; LEITE, H.G.; YARED, J.A.G. Análise do perfil do tronco de Morototó (*Didymopanax morototoni*) em função do espaçamento. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: SBS/SBEF, p. 485-491, 1993.

GOR-KESIAH, J. O.; DEMAERSCHLK, J.P. Taper functions for *Pinus patula* and *Cupressus lusitanica* trees. **Kenya Journal of Science and Tecnology**, v.1, p.45-58, 1980.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, v.16, n.2, p.170-180, 1992.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest mensuration**. 4.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 443 p., 2003.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest inventory**. Malabar: Krieger Publishing Company, 402p., 1993.

KOZAK, A. A variable-esponent taper equation. **Canadian Journal of Forest Research**, v18, p.1363-1368, 1988.

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

LARSON, P.R. Stem form development of forest tree. Washington: **Forest Science** Monographs, p. 1-41, 1963.

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

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

LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C.C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p.65-79, 1995.

LIMA, F. S. **Análise de funções de Taper destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii***: 1986. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Bern, Verlagsgesellschaft München, v.2. 469p., 1973.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 1. ed. Curitiba: UFPR, 309 p., 2003

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

MATNEY, T.G., HODGES, J.D., SULLIVAN, A.D., LEDBETTER, J.R. Tree profile and volume ratio equations for Sweetgum and Cherrybark Oak trees. **Southern Journal of Applied Forestry**, v.9, n.10, p.222-227, 1985.

MAX, T.A. e BURKHART, H.E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, v. 22, n. 33, p. 283-289, 1976.

MUHAIRWE, C.K. Taper equations for *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus grandis* for the north coast in New South Wales, Australia. **Forest Ecology and Management**, v.113, p.251-269, 1999.

MÜLLER, I. **Forma de tronco e sortimentos de madeira para *Eucalyptus grandis* hill ex Maiden., manejado em alto fuste, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MUNRO, D.D. e DEMAERSCHALK, J. Taper-based versus volume based compatible estimating systems. **Forestry Chronicle**, v. 50, n. 5, p. 197-199, 1974.

NEWBERRY, J.D.; BURKHART, H.E. Variable-form stem profile models for loblolly pine. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, p.109- 114, 1985.

NEWNHAM, R.M. Variable-form taper functions for four Alberta tree species. **Canadian Journal of Forest Research**, v.22, p.210-223, 1991.

OLIVEIRA, J. T. da S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; FILHO, M. T. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n.56, p.113-124. 1999.

ORMEROD, D. W. A simples bole model. **Forestry Chronicle**, V. 49, n. 3, p.136 – 138, 1973.

PEREIRA, J. E. da. S.; ANSUJ, A. P.; MÜLLER, I.; AMADOR, J. P. Modelagem do volume do tronco do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. In: Simpósio de Engenharia de Produção, 12, 2005, Bauru. **Anais...** Bauru, 2005.

PETERSON, H. A segmented stem profile model for *Pinus sylvestris*. **Forest Ecology and Management**, v.124, p.13-26, 1999.

PIRES, L. M.; CALEGÁRIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não lineares para a descrição do perfil longitudinal de árvore. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 845-852, 2007.

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

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

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 566p., 2008.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria - UFSM/CEPEF-FATEC, 348 p., 1993.

SCHNEIDER, P.R., FINGER, C.A.G., KLEIN, J.E.M., TOTTI, J.A., BAZZO, J.L. SCOLFORO, J. R. S., RIOS, M. S., OLIVEIRA, A. D., MAESTRI, 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, A. F. **Biometria Florestal**. Lavras, UFLA/FAEPE, 310p.,1998

SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliotti*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.723-733, 2003.

SILVA, M. C. da; SOARES, V. P.; PINTO, F. de A. C.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação do volume de madeira empilhada através de processamento de imagens digitais. **Scientia Forestalis**, n. 69, p.104-114, 2006.

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

SOUZA, C. A. M. de. **Avaliação de modelos de *taper* não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 2007.112f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

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

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

CAPÍTULO I

ANÁLISE DE DIFERENTES FORMAS DE AJUSTE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Análise de diferentes formas de ajuste de funções de afilamento

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo verificar as diferentes formas de ajuste de funções de afilamento quanto às estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume, utilizando as estimativas dos parâmetros ajustados em função do modelo original e das expressões das próprias variáveis. Foram avaliados os modelos de afilamento de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod para 70 fustes do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com 8 anos de idade, cubados em seções de 0,5 m até o diâmetro mínimo de 4 cm. Os modelos foram ajustados por meio do modelo original (relação d/dap ou $(d/dap)^2$) e das expressões de diâmetro e altura. Com as diferentes estimativas dos parâmetros obtidos, compararam-se as estimativas da variável diâmetro e altura através das estimativas dos parâmetros do modelo original e das expressões de afilamento das variáveis isoladas. As estimativas do volume foram comparadas por meio da integração do modelo original e da expressão de afilamento para o diâmetro. A escolha do melhor modelo e das diferentes formas de ajuste foi baseada na análise gráfica dos resíduos, do coeficiente de determinação (R^2), do erro padrão da estimativa ($Syx(\%)$), do viés (V), da média das diferenças (MD) e do desvio padrão das diferenças (DPD). Pelos resultados encontrados, o modelo de Demaerschalk foi mais preciso que os outros ajustados na análise das três variáveis para as diferentes formas do ajuste. Em relação às estimativas das variáveis diâmetro e altura quando da utilização das próprias expressões, resultaram em valores mais próximos dos verdadeiros às obtidas pelas estimativas dos parâmetros do modelo original. O volume obtido da integração da expressão de diâmetro foi mais preciso que o integrado quando se utilizou o modelo original.

Palavras chave: afilamento, diâmetro, altura e volume

Analysis of different adjustment forms of taper functions

ABSTRACT

This chapter had as objective to evaluate different adjustment forms of taper functions to the estimates of diameter, height and volume variables, using the parameter estimates adjusted for the original model and the expressions of the variables themselves. The tested taper models were the ones proposed by Baldwin, Demaerschalk, Kozak and Ormerod to 70 stems of the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* hybrid, with 8 years-old, cubed into sections of 0,5 m to a minimum diameter of 4 cm. The models were adjusted using the original model (ratio d/dap or $(d/dap)^2$) and expressions of diameter and height. The different parameters estimates obtained, they were compared with the estimates of diameter and height variables through the parameters estimates of the original model and taper expressions of the individual variables. The volume estimates were compared by integrating the original model and the taper expression for the diameter. Choosing the best model and the different adjustment forms was based on graphic analysis of the waste, the determination coefficient (R^2), estimated standard error ($Syx(\%)$), bias (V), average of the differences (MD) and standard deviation of the differences (DPD). The results found, Demaerschalk model was more accurate than the others in the analysis of the three variables for different adjustment forms. Regarding the estimates of diameter and height variables when using their own expressions, resulted in values closer to the true parameter estimates obtained by the original model. The volume obtained from integration of the diameter expression was more accurate than when using the original model.

Keywords: taper, diameter, height and volume

1. INTRODUÇÃO

As funções de afilamento são modelos utilizados para o cálculo de sortimentos florestais devido a sua grande flexibilidade em estimar diâmetros em qualquer altura, alturas em qualquer diâmetro, e volumes parciais, totais e comerciais do tronco de árvores. No Brasil, os estudos de forma de tronco estão baseados em funções que levam em consideração a relação d/dap ou $(d/dap)^2$, para estimar o diâmetro em qualquer altura do tronco como em Assis (2000), Chichorro et al. (2003), Fischer et al. (2001), Guimarães e Leite (1992), Lima (1986), Mendonça et al. (2007), Rios (1997), Scolforo et al. (1998) e Souza (2007).

As equações de afilamento são necessárias, pois quantificam os multiprodutos, por meio da técnica de sortimento, uma vez que as alternativas de uso da madeira são formuladas através do comprimento da tora, do diâmetro máximo e do diâmetro mínimo (LIMA, 1996)

Essas funções de afilamento têm fundamental importância na determinação de suas variáveis de forma isolada. O volume pode ser obtido por integração do modelo original ou pela equação cuja variável dependente é o diâmetro. Segundo Horle et al. (2010), as funções de afilamento podem estimar os diâmetros mínimos comerciais e consequentemente o número de toras produzidas. Ainda, segundo esse autor, as estimativas de altura pelo diâmetro são muito úteis quando se quer estimar o comprimento do tronco para posterior otimização do uso do fuste.

Essas equações podem ser ajustadas entre as formas lineares (relação d/dap) ou formas não lineares em função da variável dependente d . O mesmo ocorre quando se quer estimar a altura, esta pode ser feita isolando h na equação de diâmetro ou invertendo os valores de d e dap com h e ht na equação original, como utilizado por Schneider et al. (1996), Drescher et al. (1999), Müller et al. (2005), Pires e Calegario (2007). Já o volume é calculado a partir de integração do modelo original ou da expressão do diâmetro.

As funções podem ser obtidas tanto de modelos lineares como modelos não lineares. Os modelos lineares são mais difundidos no meio

florestal, principalmente os polinomiais como os de Shöepfer (1966), Kozak et al. (1969) e Hradetzky (1976). Todavia, os modelos não lineares como Demaerschalk (1972), Ormerod (1973) e Baldwin (1991) não eram muito utilizados para o ajuste de funções de afilamento, pois havia uma dificuldade de ajuste e convergência. Mas, com a frequente evolução da tecnologia, a fabricação de novos *hardwares* e a criação de novos *softwares*, esses ajustes estão sendo obtidos com maior facilidade.

As equações estimadas para a relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$ podem gerar resultados diferenciados para as variáveis altura e diâmetro, quando estas são ajustadas como variáveis dependentes isoladas em suas funções. O volume também pode ser influenciando se forem usados os parâmetros do modelo original em comparação com os parâmetros da equação ajustada em função da própria equação com o diâmetro isolado.

Essas diferenças podem ocorrer entre os ajustes, pois estão relacionados com a forma do tronco. Segundo Silva (1974) e Finger (1992), a variação da forma do tronco pode estar relacionada com o meio ambiente característico, espécie, idade, manejo e características genéticas, podendo ocorrer tanto em florestas inequiâneas como equiâneas, entretanto no Brasil, ocorrem em sua maioria em florestas equiâneas de *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp.

Segundo Campos e Leite (2009), o melhor modelo ajustado depende dos objetivos propostos para estudo, pois enquanto um modelo tem melhores resultados para estimar a variável diâmetro, ele pode não ser o melhor para estimar as variáveis altura e volume.

Com isso, objetivou-se neste capítulo:

- a) Avaliar o ajuste de funções de afilamento para o modelo original e isolando as variáveis diâmetro e altura;
- b) Avaliar as estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume considerando as diferentes formas de ajuste.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – *Campus* São João Evangelista, localizado no município de São João Evangelista, no estado de Minas Gerais.

A cidade localiza-se na região Centro Nordeste do estado de Minas Gerais, no Vale do Rio Doce. A altitude média ao nível do mar no *Campus* é de 452 metros, temperatura média de 22º Celsius com máxima anual de 26,1º Celsius e com mínima de 15º Celsius. O índice médio pluviométrico anual é de 1.081 mm. A classificação do clima segundo Köppen é Cwa com inverno seco e verão chuvoso.

2.2. CUBAGEM RIGOROSA

As medições foram realizadas num talhão de 3,48 hectares plantados com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* estabelecidos num espaçamento variável quase predominante de 3 x 2 metros, com 8 anos de idade provenientes de propagação clonal.

A cubagem foi realizada utilizando uma fita métrica em árvores abatidas. O processo de cubagem consistiu em medir altura (*h*) em seções de 0,5 a 0,5 m até atingir a altura do diâmetro mínimo da ponta da árvore de 4,0 centímetros. Esse seccionamento foi realizado em 70 árvores com *dap*, que variavam de 4,46 cm até 32,64 cm e alturas totais que variavam de 8,68 até 31,79 metros, conforme Tabela 1.1. Em cada seção, foi medido a circunferência (*c*) correspondente a cada seção com auxílio da fita métrica. Para cada árvore, mediu-se também a circunferência medida a 1,30 m do solo (*cap*) e a altura total (*ht*). O volume total (*v*) foi obtido somando-se os volumes parciais de todas as seções até o diâmetro mínimo de 4,0 centímetros, utilizando a metodologia de cubagem rigorosa proposta por Smalian.

Tabela 1.1. Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura

Classes de altura	Classes de diâmetro							Total
	0 – 4,9	5 – 9,9	10 – 14,9	15 – 19,9	20 – 24,9	25 – 29,9	30 – 35,0	
8,0 - 9,9	1	2						3
10,0 - 11,9	1	2						3
12,0 - 13,9		2	1					3
14,0 - 15,9		2						2
16,0 - 17,9		4	3					7
18,0 - 19,9			3					3
20,0 - 21,9			1	1				2
22,0 - 23,9			1					1
24,0 - 25,9			3			1		4
26,0 - 27,9				4	1	3	6	14
28,0 - 29,9				8	6	5	1	20
30,0 - 32,0					5	3		8
Total	2	12	12	13	12	12	7	70

2.3.MODELOS DE AFILAMENTO TESTADOS

Com os dados obtidos de *dap*, *ht*, *d* e *h*, foram ajustados modelos de afilamento para às árvores amostra com a finalidade de obterem-se as estimativas de diâmetro, altura e volume em qualquer seção do tronco. Para esse fim, foram escolhidos quatro modelos de afilamento ajustados em sua forma original (relação (d/dap)), e em relação às expressões características de diâmetro e altura. As estimativas dos parâmetros obtidas nos ajustes foram utilizadas na estimação do diâmetro, altura e volume para todos os casos considerados neste estudo:

- a) diâmetro estimado com as estimativas dos parâmetros do modelo original;
- b) diâmetro estimado com as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro;
- c) altura estimada com as estimativas dos parâmetros do modelo original;
- d) altura estimada com as estimativas dos parâmetros da expressão de altura;
- e) volume estimado em função da integração do modelo original;
- f) volume estimado em função da integração da expressão do diâmetro.

Os modelos descritos para os ajustes e suas expressões de diâmetro, altura e volume são apresentados abaixo:

• **Modelo de Baldwin (1991) – Modelo 1**

$$\left(\frac{d}{dap}\right) = \beta_1 + \beta_2 \left[\ln 1 - t \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + \varepsilon \quad (1)$$

$$\hat{d} = dap \left\{ \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \left[\ln 1 - t \left(\frac{h}{ht}\right)^{\frac{1}{3}} \right] \right\} \quad (2)$$

$$\hat{h} = ht \left\{ 1 - \exp \left[\left((d/dap) - \hat{\beta}_1 \right) / \hat{\beta}_2 \right] / t \right\}^3 \quad (3)$$

$$\hat{V} = Kdap^2 ht \left\{ \hat{\beta}_1^2 (h_2 - h_1) / ht + 2\hat{\beta}_1 \hat{\beta}_2 (3/t^3) [a(p_x - q_x \ln a) - b(p_y - q_y \ln b)] - \hat{\beta}_2^2 (3/t^3) [aq_x (\ln a)^2 - 2ap_x \ln a + 2ar_x - bq_y (\ln b)^2 + 2bp_y \ln b - 2br_y] \right\} \quad (4)$$

em que:

d = diâmetro com casca na altura h ;

dap = diâmetro com casca medido na altura de 1,30 m;

h = distância do solo até o ponto onde o diâmetro d é considerado;

ht = altura total;

β_i = parâmetros do modelo ajustado ($i=0, 1, 2, \dots, n$)

V = volume obtido para a seção desejada.

$$t = 1 - \exp \left(\frac{-\beta_1}{\beta_2} \right)$$

$$q_x = 1 - a + \frac{a^2}{3}$$

$$c = \frac{1}{3}$$

$$q_y = 1 - b + \frac{b^2}{3}$$

$$a = 1 - t(h_2/ht)^c$$

$$r_x = 1 - \frac{a}{4} + \frac{a^2}{27}$$

$$b = 1 - t(h_1/ht)^c$$

$$r_y = 1 - \frac{b}{4} + \frac{b^2}{27}$$

$$p_x = 1 - \frac{a}{2} + \frac{a^2}{9}$$

$$p_y = 1 - \frac{b}{2} + \frac{b^2}{9}$$

• **Modelo de Demaerschalk (1972) – Modelo 2**

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = 10^{2\beta_0} DAP^{(2\beta_1-2)} (ht-h)^{2\beta_2} ht^{2\beta_3} + \varepsilon \quad (5)$$

$$\hat{d} = 10^{\hat{\beta}_0} dap^{\hat{\beta}_1} (ht-h)^{\hat{\beta}_2} ht^{\hat{\beta}_3} \quad (6)$$

$$\hat{h} = ht - \left[\frac{d}{10^{\hat{\beta}_0} DAP^{\hat{\beta}_1} ht^{\hat{\beta}_2}} \right]^{\left(\frac{1}{\hat{\beta}_3}\right)} \quad (7)$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} 10^{2\hat{\beta}_0} dap^{2\hat{\beta}_1} ht^{2\hat{\beta}_2} \left[\frac{(ht-h_1)^{2\hat{\beta}_3+1} - (ht-h_2)^{2\hat{\beta}_3+1}}{2\hat{\beta}_3+1} \right] \quad (8)$$

Variáveis definidas anteriormente

• **Modelo de Kozak et al. (1969) – Modelo 3**

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{ht}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{ht}\right)^2 + \varepsilon \quad (9)$$

$$\hat{d} = dap \sqrt{\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \left(\frac{h}{ht}\right) + \hat{\beta}_2 \left(\frac{h}{ht}\right)^2} \quad (10)$$

$$\hat{h} = \frac{-\hat{\beta}_1 ht \sqrt{(\hat{\beta}_1 ht)^2 \hat{\beta}_0 - 4\hat{\beta}_2 \left(\hat{\beta}_0 ht^2 - \frac{d^2 ht^2}{dap^2}\right)}}{2\hat{\beta}_2} \quad (11)$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left[\hat{\beta}_0 (h_2 - h_1) + \frac{\hat{\beta}_1}{2ht} (h_2^2 - h_1^2) + \frac{\hat{\beta}_2}{3ht^2} (h_2^3 - h_1^3) \right] \quad (12)$$

Variáveis definidas anteriormente

• **Modelo de Ormerod (1973) – Modelo 4**

$$\left(\frac{d}{dap}\right)^2 = \left(\frac{ht-h}{ht-1,3}\right)^{2\beta_1} + \varepsilon \quad (13)$$

$$\hat{d} = dap \left(\frac{ht-h}{ht-1,3}\right)^{\hat{\beta}_1} \quad (14)$$

$$\hat{h} = ht - \left\{ \left(\frac{d}{dap} \right)^{\frac{1}{\hat{\beta}_1}} [ht - 1,3] \right\} \quad (15)$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} dap^2 \left(\frac{1}{ht-1,3} \right)^{2\hat{\beta}_1} \left[\frac{(ht-h_1)^{2\hat{\beta}_1+1} - (ht-h_2)^{2\hat{\beta}_1+1}}{2\hat{\beta}_1+1} \right] \quad (16)$$

Variáveis definidas anteriormente.

Os valores das estimativas dos parâmetros foram testados pelo teste t de student, a 5% de probabilidade, de modo a verificar efeito significativo destes na equação de ajuste das variáveis em estudo.

Os ajustes dos modelos lineares e não lineares foram realizados no software STATISTICA 7.0[®] da empresa Statsoft e as estimações foram feitas no Microsoft Excel[®] da empresa Microsoft.

2.4.AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Depois de ajustados os modelos, os valores das variáveis diâmetro, altura e volume total foram estimados por meio das equações ajustadas por meio das estimativas dos parâmetros encontrados de modo a verificar a precisão do ajuste. Para as variáveis diâmetro e altura, os valores de todas as seções foram estimados através das estimativas dos parâmetros do modelo original e das estimativas dos parâmetros de suas expressões independentes. Já a variável volume foi verificada pelo cálculo do volume total considerando então como h_1 a base da árvore e h_2 a altura, quando o diâmetro mínimo atingido foi de 4,0 centímetros.

A precisão das estimativas das variáveis foi avaliada com base no coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}(\%)$). Como os modelos estudados apresentavam diferenças em relação à variável dependente, e por existirem neste estudo, modelos lineares e não lineares, o coeficiente de determinação usado foi calculado segundo a metodologia proposta por Kvalseth (1985), que atende a todas as condições impostas para comparação entre os modelos lineares e não lineares. Assim, o coeficiente de determinação (R^2) foi calculado da seguinte forma:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} 100 \quad (17)$$

em que:

Y_i = i-ésimo valor observado para a variável dependente

$\hat{Y}_i$ = i-ésimo valor estimado para a variável dependente Y;

$\bar{Y}$ = média dos valores observados para a variável dependente Y;

Para todas as variáveis estudadas e para eventuais partes oriundas do traçamento, foram feitos testes de acordo com a metodologia utilizada por (LIMA, 1986; FERREIRA, 1999; ASSIS, 2000; MENDONÇA et al., 2007; SOUZA, 2007).

Primeiramente, foram feitas as análises gráficas dos resíduos. Os valores residuais utilizados na construção dos gráficos são expressos por:

$$Erro(\%) = \frac{(Y - \hat{Y})}{Y} 100$$

em que:

$\hat{Y}$ = valores estimados pela equação;

Y = valores observados.

Para complementar a análise gráfica de resíduos, foram realizados testes complementares (Tabela 1.2), por meio das seguintes estatísticas: *viés* (V); média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD). A partir da análise das estatísticas V , MD e DPD , procedeu-se a ordenação das funções segundo o maior ou menor grau de precisão, sendo atribuídos pesos de 1 a 4, de acordo com os resultados das estatísticas obtidas para cada equação. Foi considerado o modelo mais acurado aquele que resultou em menor somatório dos pesos para cada situação analisada, levando em consideração que para o modelo mais preciso analisado foi atribuído o menor valor para cada estatística. A Tabela 1.2 apresenta os critérios e respectivas estatísticas para avaliação do ajuste dos modelos.

Tabela 1.2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados

<i>Viés (V)</i>	<i>Média das diferenças absolutas (MD)</i>	<i>Desvio padrão das diferenças absolutas (DPD)</i>
$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$	$DPD = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}{n - 1}$

em que: Y_i = volume calculado; $\hat{Y}_i$ = valor estimado; n = número de observações; e p = número de parâmetros de cada modelo; e $d_i = Y_i - \hat{Y}_i$

Para a determinação do modelo mais acurado, a análise isolada das estatísticas V , MD , DPD não é conveniente pelo fato delas se complementarem na análise. Nesse sentido, a escolha do melhor modelo será feita pela classificação proposta pelo menor somatório das estatísticas em cada processo de estimação da variável conjuntamente com R^2 , $Syx(\%)$ e análise gráfica de resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS

Finalizada a coleta de dados e escolhidos os modelos, estes foram ajustados em função do modelo original e pelas expressões das variáveis diâmetro e altura, resultando nos valores das estimativas dos parâmetros apresentados na Tabela 1.3.

Com base na Tabela 1.3, pode-se notar que a grande maioria dos parâmetros teve resultado significativo, verificando apenas efeito não significativo no valor da estimativa do parâmetro β_0 para o modelo de Demaerschalk. Esse efeito não significativo indica que a ausência da estimativa desse parâmetro não prejudica a estimativa da variável. Com relação aos valores significativos, pode-se assim afirmar a importância de cada uma dessas estimativas no processo de estimação dos valores das variáveis.

Tabela 1.3. Valores das estimativas dos parâmetros de cada equação, para o modelo original e expressões de diâmetro e altura

Ajuste em função do modelo original				
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
Baldwin		1,1603*	0,3707*	
Demaerschalk	0,0479*	0,8297*	-0,5880*	0,7202*
Kozak	1,1131*	-1,8511*	0,7872*	
Ormerod		0,7322*		
Ajuste em função da expressão de diâmetro				
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
Baldwin		1,1389*	0,3752*	
Demaerschalk	0,0032 ^{ns}	0,7925*	-0,5067*	0,7021*
Kozak	1,0302*	-1,6263*	0,5942*	
Ormerod		0,7515*		
Ajuste em função da expressão de altura				
	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
Baldwin		1,2771*	0,5087*	
Demaerschalk	0,0492*	0,8142*	-0,6114*	0,7633*
Kozak	1,1316*	-1,8913*	0,7594*	
Ormerod		0,7562*		

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

3.2. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO

Os resíduos das estimativas da variável diâmetro, utilizando as estimativas do parâmetro do modelo original e da expressão de diâmetro, para todos os modelos testados estão representados nas Figuras 1.1 e 1.2, respectivamente.

Na Figura 1.1, pode-se observar que os modelos de Baldwin, Demaerschalk e Ormerod tiveram resultados semelhantes e mesmo tendo uma leve superestimação para $dap > 30$ cm são os modelos com melhores resultados. Numa comparação entre os três, pode-se verificar que os valores dos resíduos do modelo de Baldwin são relativamente superiores aos outros dois modelos analisados e que esse modelo teve uma leve subestimação para $dap < 30$ cm. Entretanto, o pior resultado encontra-se na análise gráfica de resíduos do modelo Kozak, que superestima a maioria dos diâmetros para o $dap > 20$ cm e subestima os valores inferiores a este dap .

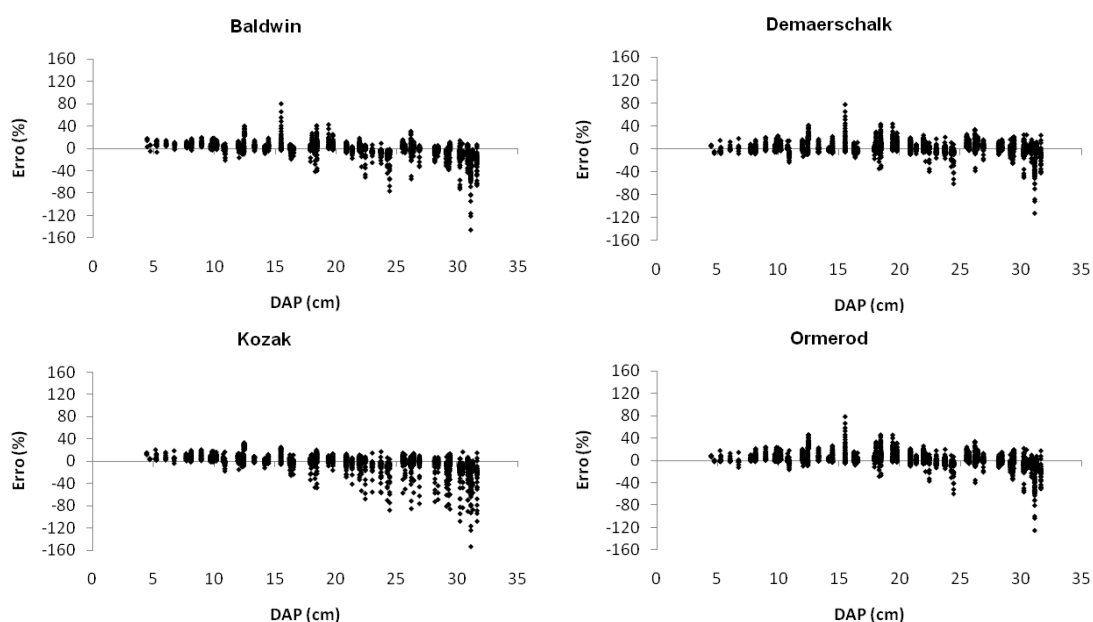


Figura 1.1. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do dap , para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

Na Figura 1.2, pode-se observar resultados semelhantes àqueles obtidos na Figura 1.1, para os modelos em estudo estimados pela expressão do diâmetro. Nessa Figura, os processos de subestimação e superestimação para todos os modelos analisados estão mais claros, confirmando o modelo de Demaerschalk como o que teve menores tendências e o modelo de Kozak, o que relativamente teve a maior tendência para superestimar esta variável para $dap > 20$ cm.

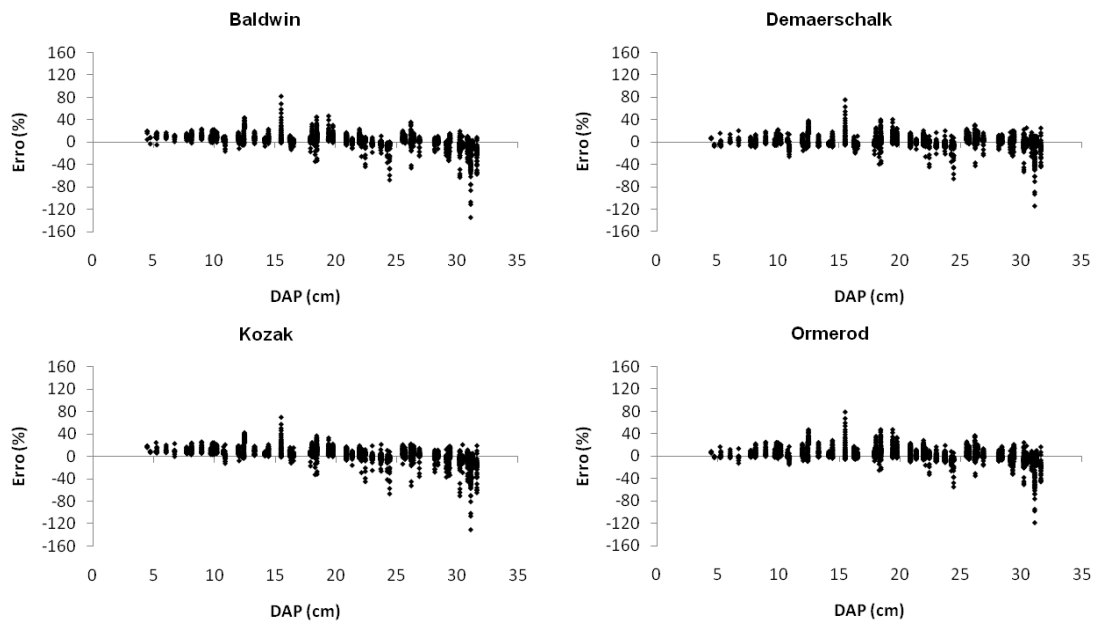


Figura 1.2. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do dap , para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

Como as estimativas dos parâmetros do modelo original dos modelos apresentados serviram de base na estimativa do diâmetro, foram recalculados R^2 e $Syx(\%)$ para as estimativas em todos os modelos e juntamente com a classificação determinada por V , MD e DPD e os resíduos foi possível estabelecer o melhor modelo para estimar a variável diâmetro, conforme Tabela 1.4.

De acordo com os resultados dessa Tabela, fica evidenciado que os valores de R^2 foram altos para ambas as situações de estimação (superior a 93%), porém o diâmetro estimado em função das expressões de diâmetro foram mais precisos para todos os modelos em relação à função original. O

mesmo ocorreu com os valores de $Syx(\%)$, que foram precisos (não ultrapassando 12%) para o ajustes de todos os modelos considerando as duas formas de ajuste. Pode-se então evidenciar que o ajuste feito em relação ao diâmetro gera estimativas mais próximas do valor verdadeiro do que quando se realiza o ajuste para a relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$.

Ainda, com base na Tabela 1.4, para as estatísticas V , MD e DPD , verifica-se uma semelhança com a análise gráfica de resíduos das Figuras 1.1 e 1.2. Para a estatística viés, pode-se confirmar pela análise gráfica de resíduos que os modelos de Demaerschalk e Ormerod mostram ausência de tendência nas estimativas pelo modelo original, enquanto Kozak e Baldwin apresentam tendência em subestimar valores de diâmetro para valores de dap pequenos e superestimar para valores de dap maiores. Já para a estatística média das diferenças, que mede a precisão dos ajustes nas estimativas, percebe-se que para os modelos mais acurados, é possível notar baixos valores residuais. Quando os diâmetros foram estimados a partir da expressão de diâmetro, os modelos de Demaerschalk e Ormerod tiveram ausência de tendência pela estatística V e MD , notando assim que estes modelos são acurados na estimativa do diâmetro.

Comparando os resultados dos dois processos estimativos (Tabela 1.4), observado a maioria dos resultados pode-se estabelecer que os resultados de todas as estatísticas foram superiores, isolando a própria variável diâmetro do que pela relação de afilamento (d/dap) ou $(d/dap)^2$.

Tabela 1.4. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de diâmetro a partir do modelo original e da expressão de diâmetro

Diâmetro estimado a partir do modelo original						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
Baldwin	94,99	10,07	-0,2517 (3)	0,9322 (2)	1,3804 (2)	2
Demaerschalk	95,95	9,06	0,0425 (1)	0,8623 (1)	1,2618 (1)	1
Kozak	93,73	11,26	-0,3658 (4)	1,0627 (4)	1,5259 (4)	4
Ormerod	94,35	10,68	-0,1079 (2)	0,9916 (3)	1,4854 (3)	3
Diâmetro estimado a partir da expressão de diâmetro						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
Baldwin	95,57	9,46	0,2012 (3)	0,9409 (2)	1,3038 (2)	2
Demaerschalk	96,02	8,97	0,0329 (2)	0,8490 (1)	1,2508 (1)	1
Kozak	94,88	10,18	0,2012 (3)	0,9985 (3)	1,4049 (3)	3
Ormerod	94,41	10,63	0,0165 (1)	1,0069 (4)	1,4817 (4)	3

Valores entre parênteses referem aos pesos

3.3. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL ALTURA

Os gráficos das estimativas dos erros em porcentagem da variável altura, utilizando as estimativas do parâmetro do modelo original e da expressão de altura para todos os modelos testados, estão representados nas Figuras 1.3 e 1.4, respectivamente.

Na Figura 1.3, pode-se verificar que o modelo de Demaerschalk teve uma melhor distribuição dos resíduos, mesmo em alguns casos tendo altos valores das estimativas. Esses valores estão associados à parte basal da árvore, onde a altura é difícil de ser estimada, obtendo valores altos de resíduos em algumas classes de *dap*. Posterior a esse modelo, de forma intermediária estão os modelos de Ormerod, com estimativas um pouco piores que Demaerschalk e Kozak que, assim como para o diâmetro, tende a superestimar a variável analisada para *dap* > 20 cm. O pior dos modelos analisados para essa variável foi o de Baldwin, que teve uma tendência em subestimar altura para valores de *dap* < 20 cm e superestimar para valores superiores a essa classe de *dap*, principalmente na classe da *dap* entre 10 e 15 cm.

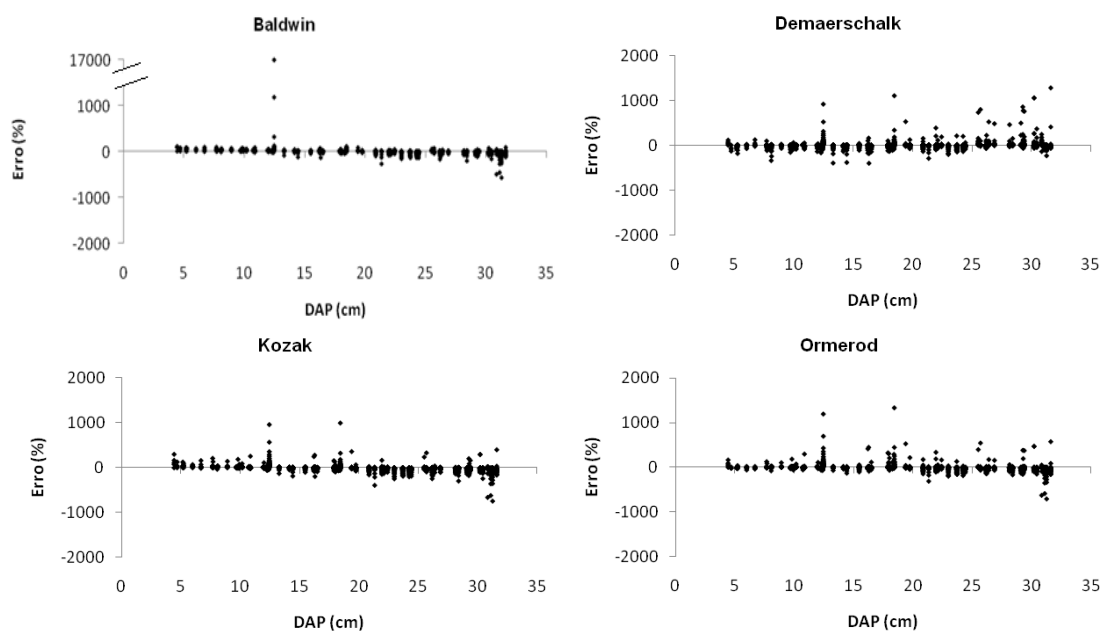


Figura 1.3. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

Na Figura 1.4, considerando as estimativas da variável altura com as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, os modelos de Demaerschalk, Ormerod e Kozak, mostram-se parecidos com as estimativas da análise gráfica de resíduos da Figura 1.3. Porém, nesses casos, os erros foram menores, mostrando que os modelos estimados pela própria expressão da variável ficaram mais próximos do verdadeiro valor. Já o modelo de Baldwin teve uma tendência em superestimar as alturas em todas as classes de *dap*, não sendo então um bom modelo para as estimativas dessa variável.

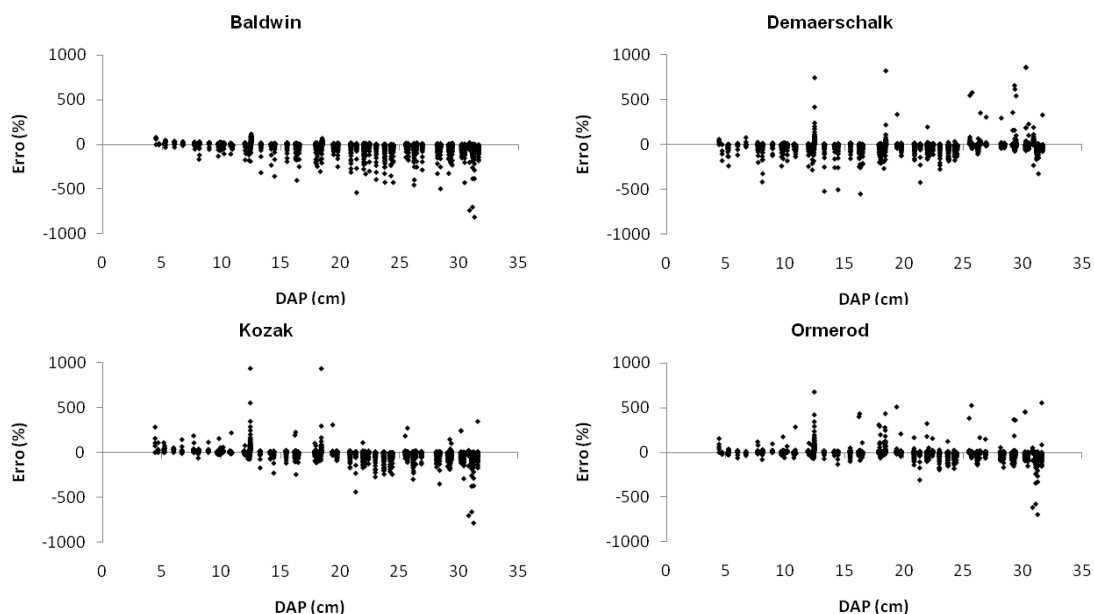


Figura 1.4. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 1.5 fica evidenciado que os valores de R^2 foram altos nos ajustes de Demaerschalk, Kozak e Ormerod (superior a 91%), exceto para o caso de Baldwin que só apresentou resultado satisfatório para a equação de estimativa usando os estimadores dos parâmetros da expressão de altura ($R^2 = 94,02$). Do mesmo modo que o diâmetro, a altura estimada em função das estimativas dos parâmetros de sua própria expressão foram superiores para todos os modelos em relação à função original. O mesmo ocorreu com os valores de $Syx(\%)$, mas, mesmo assim, essa estatística teve valores relativamente altos em ambos os ajustes (superiores a 15%). As causas desses possíveis valores altos podem estar associadas ao fato dessa variável ser difícil de ser estimada em alguns pontos, principalmente na parte basal do fuste, além do que o modelo de Baldwin estimado no modelo original teve um erro de (54%), mostrando que as estimativas dos parâmetros da relação (d/dap) desse modelo tiveram alguns pontos com erros relativamente grandes, ocorridos nas classes de *dap* de 10 a 15 cm, como mostrado na Figura 1.3.

As estatísticas, *V*, *MD* e *DPD*, para a variável altura, estão na Tabela 1.5. Para a estatística *V*, verifica-se que nas estimativas da variável altura usando os estimadores dos parâmetros do modelo original para os modelos de Baldwin, Demaerschalk e Ormerod há ausência de tendência nas estimativas. Já quando a estimativa ocorre isolando a variável altura, o modelo de Kozak cede lugar para o de Ormerod com relação à ausência de tendência. Considerando agora, a estatística *MD*, nas duas formas de estimação, a precisão dos ajustes nas estimativas foi satisfatória, um pouco mais alto que os valores para diâmetro, que demonstra como dito anteriormente, maior dificuldade maior estimar essa variável em relação ao diâmetro.

Confrontando os resultados nos dois métodos de estimação (Tabela 1.5), observando a maioria dos resultados pode-se estabelecer que os resultados de todas as estatísticas, em sua maioria, têm melhores resultados no ajuste pela expressão da própria variável do que pelo uso dos parâmetros da relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$.

Tabela 1.5. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (*V*), média das diferenças absolutas (*MD*), desvio padrão das diferenças (*DPD*) e a classificação para as estimativas de altura a partir do modelo original e da expressão de altura

Altura estimada a partir do modelo original						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	<i>V</i>	<i>MD</i>	<i>DPD</i>	Classificação
Baldwin	28,86	54,72	0,0349 (1)	1,3341 (2)	6,2800 (4)	3
Demaerschalk	94,35	15,43	0,0829 (3)	1,2181 (1)	1,7686 (1)	1
Kozak	91,82	18,47	-0,2192 (4)	1,5069 (3)	2,1002 (3)	4
Ormerod	92,88	17,31	0,0527 (2)	1,3341 (2)	1,9863 (2)	2
Altura estimada a partir da expressão de altura						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	<i>V</i>	<i>MD</i>	<i>DPD</i>	Classificação
Baldwin	94,02	15,87	0,0316 (1)	1,3500 (2)	1,8206 (2)	2
Demaerschalk	94,61	15,07	0,0577 (2)	1,2735 (1)	1,7282 (1)	1
Kozak	93,41	16,66	0,0651 (3)	1,3864 (4)	1,9114 (3)	3
Ormerod	92,98	17,19	0,2486 (4)	1,3554 (3)	1,9570 (4)	4

Valores entre parênteses referem-se aos pesos

3.4. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL VOLUME

As Figuras 1.5 e 1.6, contêm as análises gráficas de resíduos da variável volume estimada a partir da integração do modelo original e da expressão de diâmetro.

Na Figura 1.5, verifica-se que o modelo de Demaerschalk teve a melhor distribuição dos resíduos em relação aos modelos de Baldwin, Kozak e Ormerod, não demonstrando tendência dos valores nos erros relativos ao longo das classes de diâmetros. O modelo de Ormerod apresenta-se intermediário entre o modelo de Demaerschalk e os modelos mais tendenciosos Baldwin e Kozak. Esses modelos tendenciosos claramente têm valores de volume subestimados para $dap < 15$ cm enquanto para $dap > 15$ cm os valores são superestimados para essa variável. O modelo de Ormerod mantém uma boa distribuição dos valores de volume com uma leve superestimação a partir de $dap > 30$ cm.

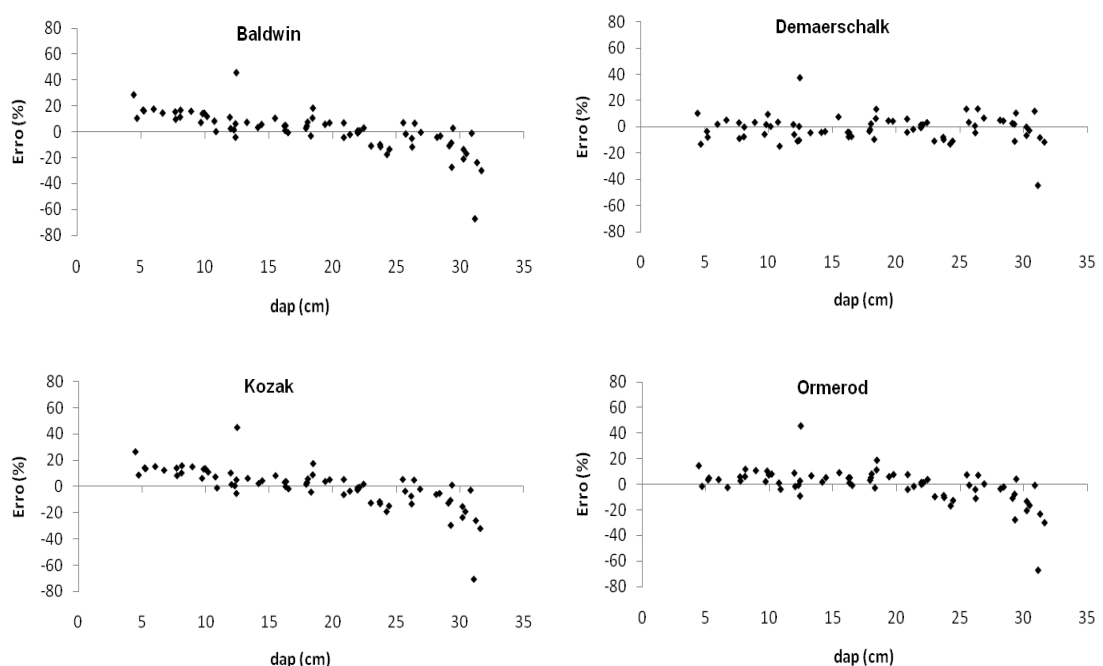


Figura 1.5. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros do modelo original, em porcentagem, em função do dap , para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

A Figura 1.6 teve as mesmas tendências dos modelos descritos na Figura 1.5. Pode-se notar que mesmo seguindo a tendência, esses gráficos mostram erros relativos menores, caracterizado que as estimativas de volume obtidas com as estimativas dos parâmetros pela expressão de diâmetro estão mais próximas do valor obtido por Smalian.

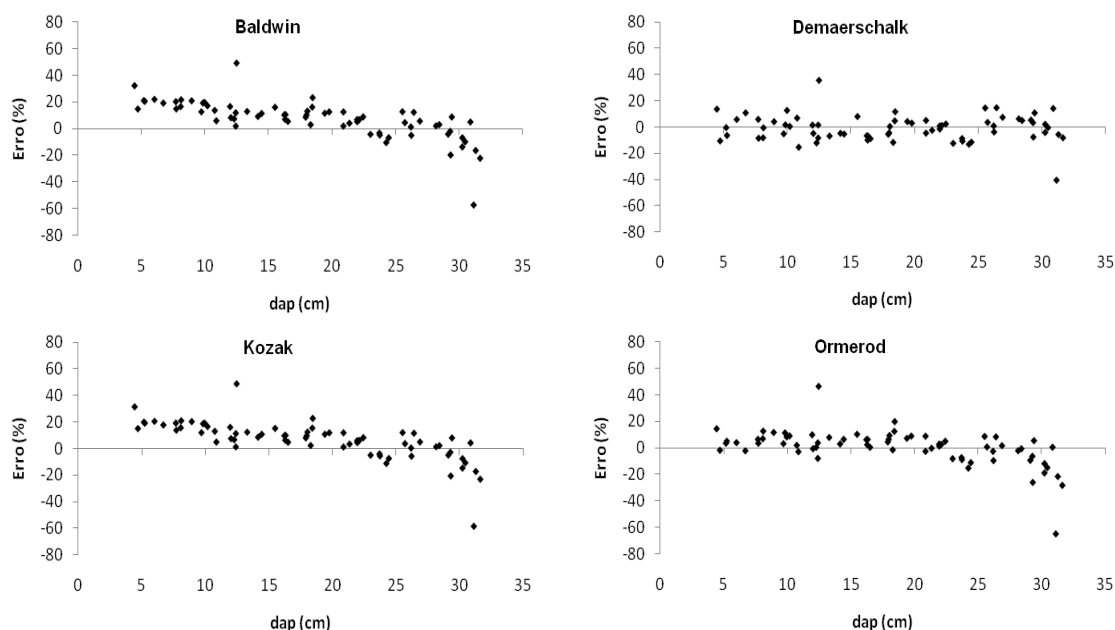


Figura 1.6. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod.

Conforme Tabela 1.6, a estatística R^2 teve valores altos para todos os modelos (superior a 91%), quando utilizados os parâmetros do modelo original, enquanto que as estimativas quando utilizadas os parâmetros da expressão diâmetro foram superiores a 94%, mostrando que as estimativas pela integração da expressão de diâmetro em relação à estatística R^2 foram mais precisas do que quando se utilizou os parâmetros do modelo original. Esse resultado também ficou comprovado com o diâmetro e a altura estimada em função de suas próprias expressões de ajuste que foram mais precisos para todos os modelos em relação à função original. Para o volume, os valores de $Syx(\%)$ tiveram valores altos chegando a 21,43% de erro em média no modelo de Kozak com as estimativas dos parâmetros do modelo original. Como aconteceu nas estimativas de diâmetro e altura por meio das expressões das

próprias variáveis, os volumes integrados a partir da equação de diâmetro tiveram resultados mais precisos em relação aos da equação original com um erro padrão da média mais baixo.

Para as estatísticas V , MD e DPD (Tabela 1.6), para a variável volume, os ajustes foram próximos do valor calculado por Smalian na estimativa da variável, já que para as três estatísticas os valores encontrados não ultrapassaram o valor unitário. As tendências apresentaram valores muito baixos, principalmente, demonstrado no modelo de Demaerschalk que teve ausência de tendência nos valores estimados pela própria expressão de diâmetro. Já para a estatística média das diferenças, nas duas formas de estimação, a precisão dos ajustes nas estimativas teve resultados precisos.

Confrontando os resultados nos dois métodos de estimação, observa-se que a maioria dos resultados de todas as estatísticas analisadas teve melhores resultados quando se obtém as estimativas usando as estimativas dos parâmetros da própria expressão do que pela relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$, forma característica do modelo original.

Tabela 1.6. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de volume a partir do modelo original e da expressão de diâmetro

Volume estimado a partir do modelo original						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
Baldwin	93,19	19,63	-0,0191 (3)	0,0382 (3)	0,0692 (3)	3
Demaerschalk	96,93	13,17	-0,0020 (1)	0,0272 (1)	0,0481 (1)	1
Kozak	91,88	21,43	-0,0257 (4)	0,0409 (4)	0,0738 (4)	4
Ormerod	93,39	19,35	-0,0179 (2)	0,0369 (2)	0,0684 (2)	2
Volume estimado a partir da expressão de diâmetro						
Modelo	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
Baldwin	95,20	16,49	0,0035 (3)	0,0371 (4)	0,0602 (2)	3
Demaerschalk	97,06	12,89	-0,0001 (1)	0,0275 (1)	0,0472 (1)	1
Kozak	94,93	16,94	0,0009 (2)	0,0366 (3)	0,0620 (3)	2
Ormerod	93,99	18,45	-0,0128 (4)	0,0358 (2)	0,0662 (4)	4

Valores entre parênteses referem-se aos pesos

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, pode-se inferir que:

a) As estimativas de diâmetro e altura a partir da expressão da própria variável tiveram resultados mais precisos do que quando essas estimações foram feitas pelas estimativas dos parâmetros do modelo original.

b) Para as estimativas de diâmetro, os modelos de Demaerschalk e Ormerod indicaram resultados mais precisos sobre os modelos de Kozak e Baldwin, que tiveram tendências de estimação.

c) Em relação à altura, os modelos de Demaerschalk, Ormerod e Kozak tiveram estimativas razoáveis pela dificuldade de estimação. Já o modelo de Baldwin teve tendências em superestimar essa variável na maioria dos casos.

d) Para a variável volume, os resultados das estimativas com as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro tiveram resultados mais fidedignos, quando foram utilizadas as estimativas dos parâmetros da relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$.

e) Em se tratando das estimativas de volume, o modelo de Demaerschalk foi o melhor deles, apresentando ausência de tendência na estimação da variável.

f) Considerando os modelos em geral, as três variáveis estimadas, as estatísticas e as análises gráficas de resíduos, pode-se afirmar para o presente estudo, que o modelo de Demaerschalk foi o mais acurado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BALDWIN JR, V. C.; FEDUCCIA, D. P. Compatible Tree-volume and upper-stem diameter equations for plantation Loblolly Pines in the West Gulf region. South. **Journal Applied Forestry**, v. 15, n. 2, p. 92-97, 1991.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 3.ed., 548 p., 2009.

CHICHORRO, F. J.; REZENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de *taper* para quantificar múltiplos produtos da madeira em floresta de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

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

DRESHER, R.; SCHNEIDER, 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, 1995.

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

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

FISCHER, F.; SCOLFORO, J. R. S.; ACERBI JUNIOR, F. W.; 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, 2001.

GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Leite. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. **Revista Árvore**, v. 16, n. 2, p. 170-180, 1992.

HORLE, D. C.; MENDONÇA, A. R. de; CARVALHO, S. de P. C. e; CALEGÁRIO, N. Modelagem não linear do perfil longitudinal de fustes de *Pinus oocarpa*. **Cerne**, v. 16, n. 2, p. 177-184, 2010.

HRADETZKY, J. Analyse und interpretation statistischer abhänger keiten. **Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 146p, 1976. (Abt. Biometric und Informatik, 21).

KVALSETH, T. O. Cautionary note about R^2 . **The American Statistician**, v. 39, n.4, p. 279-285, 1985.

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

LIMA, D. G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. 1996. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

LIMA, F. S. **Análise de funções de “taper” destinadas a avaliação de múltiplos produtos de árvores de *Pinus elliottii***. 1986. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

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

MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Forma de 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.193-305, 2005.

ORMEROD, D. W. A simples bole model. **Forestry Chronicle**, V. 49, n. 3, p.136 – 138, 1973.

PIRES, L. M.; CALEGÁRIO, N. Ajuste de modelos estocásticos lineares e não lineares para a descrição do perfil longitudinal das árvores. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 845-852, 2007.

RIOS, M. S. **A eficiência das funções polinomiais, da função spline cúbica e razões de volume para representar o perfil do fuste da árvore e estimar os sortimentos de *Pinus elliottii***. 1997. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

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

SCHOEPFER, W. **Automatisierung des Massem, Sorten und Wertberechnung stenender Waldbestände Schriftenreihe Bad. [S.l]: Wurt-Forstl.,1966.**

SCOLFORO, J. R. S.; RIOS, M. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M. de; MAESTRI, 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.

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 Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 1974.

SOUZA, C. A. M. de. **Avaliação de modelos de *taper* não segmentados e segmentados na estimação da altura e volume comercial de fustes de *Eucalyptus* sp.** 2007.112f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito santo, Alegre, 2007.

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES NO AJUSTE DE FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Influência do comprimento das seções no ajuste de funções de afilamento

RESUMO

Este capítulo teve como objetivo verificar a ocorrência de diferenças nas estimativas de diâmetro, altura e volume em diferentes níveis de amostragem por meio de diferentes comprimentos de seções, considerando ou não a influência da base com o uso de funções de afilamento. No processo de cubagem, foram medidos 70 fustes do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com 8 anos de idade. Para efeito do estudo, considerou-se dez níveis de amostragem separados em diferentes comprimentos de seções de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, 4,5 m e 5,0 m onde foram feitas estimativas para as variáveis estudadas para cada um dos fustes analisados. Foi ajustado o modelo de afilamento de Demaerschalk em cada um dos níveis amostrados, utilizando as expressões de diâmetro e altura, considerando ou não a influência da base para obtenção das estimativas dos parâmetros utilizados na estimação das variáveis. A escolha do melhor nível de amostragem, considerando ou não a influência da base, foi feita pela análise gráfica dos resíduos, do coeficiente de determinação (R^2), do erro padrão da estimativa ($Syx(\%)$), do viés (V), da média das diferenças (MD) e do desvio padrão das diferenças (DPD). Os resultados mostraram que o nível amostragem de 0,5 m foi mais preciso em estimar as variáveis analisadas, principalmente no cálculo do volume. Ficou comprovado também que as estimativas considerando a influência da base tiveram resultados indicando maior precisão ao grupo que não considerou esta influência. Dessa forma, concluiu-se que seções menores com mais seções medidas na base geram estimativas mais acuradas de diâmetro, altura e volume.

Palavras chave: níveis de amostragem, cubagem, influência da base

Influence of the sections length in the taper functions adjustment

ABSTRACT

This chapter had as objective to verify the occurrence of differences in the estimates of diameter, height and volume at different levels of sampling using different sections lengths, considering or not the influence of the base with the use of taper functions. In the process of cubage, 70 stems of the *Eucalyptus urophylla* x *Eucayptus grandis* hybrid were measured, with 8 years-old. For this study, ten sampling levels were considered, separated into sections of different lengths of 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, 4,5 m and 5,0 m where estimates were made for the studied variables for each of the stems examined. It was adjusted the Demaerschalk taper model in each sampled levels, using the expressions of diameter and height, considering or not the influence of the basis for obtaining parameters estimates used in the variables estimation. Choosing the best level of sampling, considering or not the influence of the base, was performed by graphic analysis of the waste, the determination coefficient (R^2), estimated standard error ($Syx(\%)$), bias (V), average of the differences (MD) and standard deviation of the differences (DPD). The results showed that the sampling level of 0,5 m was more accurate in estimating the analyzed variables, especially in the volume calculation. It was proven that the estimates considering the influence of the base had results indicating greater accuracy than the group that did not consider this influence. Thus, it was concluded that smaller sections with more sections measured at the base generate more accurate estimates of diameter, height and volume.

Keywords: levels of sampling, cubage, influence of base

1. INTRODUÇÃO

Maximizar a renda proveniente do uso de florestas comerciais tem sido a preocupação de muitos investigadores florestais. A diversificação na oferta de produtos é um parâmetro essencial na mensuração do desenvolvimento florestal. Segundo Angelo et al. (1995), para propiciar diferentes usos ao tronco de uma árvore, é necessário conhecer sua forma, a qual determinará o método de processamento na definição das seções de cubagem.

Quantificar os estoques volumétricos tem sido o principal objetivo do mapeamento de florestas. Campos e Leite (2009) sugerem a utilização de procedimentos de inventário baseado em amostra, em que o volume da árvore é determinado por meio de equações volumétricas e outros procedimentos, tais como a relação volume ou modelos de afilamento.

Os métodos mais comuns de ajustes volumétricos são obtidos com dados de cubagem das árvores amostra (SOARES et al., 2006). Como a árvore não tem a forma de um cilindro perfeito, conhecer seu perfil torna-se necessário na estimativa do volume entre cada seção, para quantificar os produtos e com isso determinar o lucro esperado pela produção.

Há várias opiniões de autores a respeito das fórmulas mais precisas em relação às seções de dimensionamento nas árvores (SOARES et al., 2010). As mais utilizadas são as de Newton, Huber e Smalian (FINGER, 1992). Goulding (1979) e Husch et al. (2003) afirmam que Newton é a fórmula mais precisa, pois leva em conta as diferentes formas que o tronco da árvore pode assumir: cilindro, neiloide, parabolóide e cone. Finger (1992) destaca que as fórmulas de Smalian e Huber são precisas apenas quando o tronco se assemelha a um parabolóide.

De acordo com Soares et al. (2010), há muitas fórmulas diferentes para determinar o volume da árvore e de galhos e também diferentes resultados decorrentes da sua utilização. No entanto, pouca atenção tem sido dada à influência do comprimento de seção em volume.

Desse modo, para obtenção da quantidade de madeira mais próxima do valor real entra em questão a amostragem, pois quanto mais medições feitas no fuste mais caracterizado estará esse perfil. Isso se deve ao fato de

que seções mais próximas estimam melhor este afilamento e encaixam a árvore mais facilmente em uma classe geométrica.

Dessa forma, objetivou-se neste capítulo:

a) Verificar a influência do comprimento das seções nas estimativas das variáveis diâmetro, altura e volume em relação ao ajuste dos dados em diferentes níveis de amostragem;

b) Verificar a influência da medição de mais seções na base nas estimativas de diâmetro, altura e volume.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O estudo foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) – *Campus* São João Evangelista, localizado no município de São João Evangelista, no estado de Minas Gerais.

A cidade localiza-se na região Centro Nordeste do estado de Minas Gerais, no Vale do Rio Doce. A altitude média ao nível do mar no *Campus* é de 452 metros, temperatura média de 22º Celsius com máxima anual de 26,1º Celsius e com mínima de 15º Celsius. O índice médio pluviométrico anual é de 1.081 mm. A classificação do clima segundo Köppen é Cwa com inverno seco e verão chuvoso.

2.2. CUBAGEM RIGOROSA

As medições foram realizadas num talhão de 3,48 hectares plantado com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* estabelecidos num espaçamento variável quase predominante de 3 x 2 metros, com 8 anos de idade, provenientes de propagação clonal.

A cubagem foi realizada utilizando uma fita métrica em árvores abatidas. O processo de cubagem consistiu em medir altura (*h*) em seções de 0,5 a 0,5 m até atingir a altura do diâmetro mínimo da ponta da árvore de 4,0 centímetros. Esse seccionamento foi realizado em 70 árvores com *dap* que variavam de 4,46 cm até 32,64 cm e alturas totais que variavam de 8,68 até 31,79 metros, conforme Tabela 2.1. Em cada seção, foi medida a circunferência (*c*) com auxílio da fita métrica. Para cada árvore, mediu-se também a circunferência a 1,30 m do solo (*cap*) e a altura total (*ht*). O volume total (*v*) foi obtido somando-se os volumes parciais de todas as seções até o diâmetro mínimo de 4 centímetros, utilizando a metodologia de cubagem rigorosa proposta por Smalian.

Tabela 2.1. Distribuição de frequência das árvores por classes de diâmetro e altura

Classes de altura	Classes de diâmetro							Total
	0 – 4,9	5 – 9,9	10 – 14,9	15 – 19,9	20 – 24,9	25 – 29,9	30 - 35	
8,0 - 9,9	1	2						3
10,0 - 11,9	1	2						3
12,0 - 13,9		2	1					3
14,0 - 15,9		2						2
16,0 - 17,9		4	3					7
18,0 - 19,9			3					3
20,0 - 21,9			1	1				2
22,0 - 23,9			1					1
24,0 - 25,9			3			1		4
26,0 - 27,9				4	1	3	6	14
28,0 - 29,9				8	6	5	1	20
30,0 - 32,0					5	3		8
Total	2	12	12	13	12	12	7	70

2.3. METODOLOGIA DE AMOSTRAGEM

A partir dos ajustes realizados no capítulo I e de acordo com as conclusões obtidas, o modelo de Demaerschalk destacou-se como mais preciso em relação aos modelos de Baldwin, Kozak e Ormerod para os dados do híbrido de eucalipto analisado. Pelos resultados apresentados no capítulo I, as estimações das variáveis diâmetro e altura a partir das estimativas dos parâmetros da própria expressão da variável e o volume integrado a partir dos estimadores da função de diâmetro tiveram estimativas mais precisas em relação às estimativas obtidas com as estimativas dos parâmetros do modelo original.

Desse modo, a composição das estimativas das variáveis diâmetro e altura em estudo neste capítulo foi feita utilizando o modelo de Demaerschalk pelas estimativas dos parâmetros da expressão das variáveis analisadas e o volume foi estimado a partir da integração da expressão diâmetro nos diferentes níveis de amostragem, representados pelos diferentes comprimentos de seções, do fuste da árvore.

O modelo de Demaerschalk, nesse ajuste, foi caracterizado com as seguintes expressões relativas às variáveis h , d e v descritas a seguir:

$$\hat{d} = 10^{\hat{\beta}_0} dap^{\hat{\beta}_1} (ht - h)^{\hat{\beta}_2} ht^{\hat{\beta}_3} \quad (1)$$

$$\hat{h} = ht - \left[\frac{d}{10^{\hat{\beta}_0} DAP^{\hat{\beta}_1} ht^{\hat{\beta}_2}} \right]^{\left(\frac{1}{\hat{\beta}_3} \right)} \quad (2)$$

$$\hat{V} = \frac{\pi}{40000} 10^{2\hat{\beta}_0} dap^{2\hat{\beta}_1} ht^{2\hat{\beta}_2} \left[\frac{(ht-h_1)^{2\hat{\beta}_3+1} - (ht-h_2)^{2\hat{\beta}_3+1}}{2\hat{\beta}_3+1} \right] \quad (3)$$

em que:

d = diâmetro com casca na altura h ;

dap = diâmetro com casca medido na altura de 1,30 m;

h = distância do solo até o ponto onde o diâmetro d é considerado;

ht = altura total;

β_i = parâmetros do modelo ajustado ($i=0, 1, 2, 3$);

V = volume obtido para a seção desejada.

Para efeito deste estudo, foram considerados dez níveis de amostragem que correspondem a diferentes comprimentos de seções medidas nas árvores. Esses comprimentos de seções foram medidas nos fustes, começando da base da árvore, em intervalos de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 2,5 m, 3,0 m, 3,5 m, 4,0 m, 4,5 m e 5,0 m, até o fuste atingir um diâmetro mínimo de 4,0 centímetros.

Admitindo que a maior porção do volume esteja contida na base do fuste e que também há uma maior variação da forma nessa porção, os dados para ajuste das funções de afilamento foram divididos em dois grupos. No sentido de se verificar a influência da porção basal na qualidade do ajuste das funções de afilamento, um dos grupos considerou os dados medidos na base no ajuste das funções de afilamento (G1) e o outro grupo não levou em consideração a medição de um número maior de seções na base (G2). Por exemplo, para a cubagem feita no fuste da árvore de número 62 para o nível de amostragem em intervalos de 4,0 m, para o G1 foram medidas as seções em 0,0 m, 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m, 2,0 m, 4,0 m, 8,0 m, 12,0 m, 16,0 m, 20,0 m, 24,0 m, 28,0 m e 29,0m, quando o fuste atingiu um diâmetro mínimo de 4 cm. Já para esse mesmo fuste no G2, as cubagens foram realizadas nas seções de 0,0 m, 4,0 m, 8,0 m, 12,0 m, 16,0 m, 20,0 m, 24,0 m, 28,0 m e 29,0m. Pelo exemplo

apresentado, percebe-se que no G1 a influência da base é obtida acrescentando-se os níveis de amostragem correspondentes às seções de 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m e 2,0 m.

O ajuste foi realizado para o modelo de Demaerschalk para as variáveis diâmetro e altura, considerando todos os dados de cada nível de amostragem nos dois grupos definidos. As estimativas dos parâmetros obtidos em cada nível de amostragem foram utilizadas para obter as estimativas das três variáveis em estudo (d , h e v). Para evitar equívocos de comparação entre os resultados de diâmetro e altura pelo número diferente de observações para um mesmo nível de amostragem, os valores das seções correspondentes à base que não estavam presentes no conjunto de dados do G2 no ajuste da função foram introduzidas no banco de dados de cada nível de amostragem e calculadas suas estimativas, obtendo assim o mesmo número de dados para análise. Para o volume isso não foi necessário, já que a estimação dessa variável leva em consideração apenas a h_1 na seção de 0,0 m e h_2 correspondente à altura no diâmetro mínimo de 4 centímetros.

Os valores das estimativas dos parâmetros para todos os níveis de amostragem foram testados pelo teste “t” de modo a verificar efeito significativo na equação de estimação das variáveis em estudo a 5% de probabilidade.

Os ajustes dos dez níveis de amostragem foram realizados no *software* STATISTICA 7.0[®] da empresa Statsoft e as estimações foram feitas no Microsoft Excel[®] da empresa Microsoft.

2.4. AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Definidos os níveis de amostragem, os grupos de dados e ajustados os modelos, foram estimados os valores das variáveis diâmetro, altura e volume para verificar a precisão do ajuste.

Para as variáveis diâmetro e altura, os valores de todas as seções de todos os níveis de amostragem foram estimados por meio das estimativas dos parâmetros de suas equações independentes ajustadas para os dois grupos em todos os níveis de amostragem. Já a variável volume, a precisão foi verificada pelo cálculo do volume total considerando então como h_1 a base da

árvore e h_2 a altura atingida quando o diâmetro mínimo atingido foi de 4,0 centímetros para todos os níveis de amostragem analisados com e sem influência da base.

A precisão das estimativas das variáveis foi feita com base no coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão da estimativa em porcentagem ($S_{yx}(\%)$). O coeficiente de determinação (R^2) foi calculado da seguinte forma proposto por Kvalseth (1985):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} 100 \quad (4)$$

em que:

Y_i = i-ésimo valor observado para a variável dependente;

$\hat{Y}_i$ = i-ésimo valor estimado para a variável dependente Y;

$\bar{Y}$ = média dos valores observados para a variável dependente Y;

Os valores das variáveis em todos os níveis de amostragem analisados foram ainda comparados por testes de acordo com a metodologia utilizada no capítulo I.

Foram feitas as análises gráficas dos resíduos. Os valores residuais utilizados na construção dos gráficos são expressos por:

$$Erro(\%) = \frac{(Y - \hat{Y})}{Y} 100$$

em que:

$\hat{Y}$ = valores estimados pela equação;

Y = valores observados.

Para complementar a análise gráfica de resíduos, foram realizados testes complementares (Tabela 2.2), por meio das seguintes estatísticas: viés (V), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD). A partir da análise das estatísticas V , MD e DPD , procedeu-se a ordenação dos níveis de amostragem segundo o maior ou menor grau de precisão, sendo atribuídos pesos de 1 a 10 de acordo com os resultados das estatísticas obtidas para cada nível de amostragem em cada grupo. Foi

considerado o nível de amostragem mais acurado aquele que resultou em menor somatório para cada situação analisada, levando em consideração que a estimativa mais precisa no nível de amostragem analisado teve atribuído o menor valor para cada estatística. A Tabela 2.2 contém os critérios e respectivas estatísticas para avaliação do ajuste dos modelos.

Tabela 2.2. Critérios para avaliação do ajuste e validação dos dados

<i>Viés (V)</i>	<i>Média das diferenças absolutas (MD)</i>	<i>Desvio padrão das diferenças absolutas (DPD)</i>
$V = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n}$	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$	$DPD = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}{n - 1}$

Em que: Y_i = volume calculado; $\hat{Y}_i$ = valor estimado; n = número de observações; e p = número de parâmetros de cada modelo; e $d_i = Y_i - \hat{Y}_i$

Para a determinação do nível de amostragem mais preciso, a análise isolada das estatísticas V , MD , DPD não é conveniente pelo fato delas se complementarem na análise. Nesse sentido, a escolha do melhor modelo foi feita pela *classificação* proposta pelo menor somatório das estatísticas em cada processo de estimação da variável conjuntamente com R^2 , $Syx(\%)$ e análise gráfica de resíduos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS

Ajustado o modelo de Demaerschalk para as variáveis diâmetro e altura, para os dez níveis de amostragem, em ambos os grupos, os valores das estimativas dos parâmetros nos grupos G1, com a influência da base e sem considerar a influência da base (G2) estão na Tabela 2.3.

Nesta tabela, verifica-se que, assim como ocorreu para os ajustes do capítulo I para o modelo de Demaerschalk, a maioria das estimativas de β_0 para a equação ajustada em função do diâmetro tanto para o grupo G1 e G2 teve resultado não significativo. Os valores das estimativas dos outros parâmetros tiveram resultado significativo a 5% de probabilidade pelo teste “t”, indicando assim que as estimativas dos parâmetros explicam as variáveis dependentes através de suas estimações.

Analisando conjuntamente os resultados dos grupos G1 e G2, nota-se que, na maioria dos casos observados, os valores das estimativas dos parâmetros tendem a aumentar, à medida que se diminui a quantidade de seções medidas no fuste para os ajustes realizados em função da expressão de diâmetro e altura.

Tabela 2.3. Valores das estimativas dos parâmetros de cada expressão para as variáveis diâmetro e altura no grupo com influência (G1) e sem influência da base (G2) para os dez níveis de amostragem

Ajuste com influência da base (G1)				
Em função do diâmetro				
Níveis	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$
0,5 m	0,0032 ^{ns}	0,7925*	-0,5067*	0,7021*
1,0 m	0,0212 ^{ns}	0,8141*	-0,5558*	0,7226*
1,5 m	0,0341 ^{ns}	0,8326*	-0,5925*	0,7353*
2,0 m	0,0426 ^{ns}	0,8446*	-0,6167*	0,7440*
2,5 m	0,0490 ^{ns}	0,8574*	-0,6328*	0,7436*
3,0 m	0,0534 ^{ns}	0,8626*	-0,6484*	0,7522*
3,5 m	0,0591*	0,8687*	-0,6605*	0,7551*
4,0 m	0,0472 ^{ns}	0,8550*	-0,6560*	0,7725*
4,5 m	0,0597 ^{ns}	0,8774*	-0,6743*	0,7613*
5,0 m	0,0616*	0,8789*	-0,6761*	0,7607* Continua...

Tabela 2.3, Continuação:

Em função da altura				
Níveis	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
0,5 m	0,0492*	0,8142*	-0,6114*	0,7633*
1,0 m	0,0513*	0,8287*	-0,6490*	0,7895*
1,5 m	0,0528*	0,8399*	-0,6753*	0,8058*
2,0 m	0,0551*	0,8480*	-0,6949*	0,8178*
2,5 m	0,0579*	0,8555*	-0,7130*	0,8264*
3,0 m	0,0588*	0,8573*	-0,7257*	0,8375*
3,5 m	0,0617*	0,8612*	-0,7370*	0,8437*
4,0 m	0,0565*	0,8558*	-0,7449*	0,8609*
4,5 m	0,0608*	0,8672*	-0,7562*	0,8587*
5,0 m	0,0635*	0,8675*	-0,7606*	0,8611*
Ajuste sem influência da base (G2)				
Em função do diâmetro				
Níveis	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
0,5 m	0,0032 ^{ns}	0,7925*	-0,5067*	0,7021*
1,0 m	0,0162 ^{ns}	0,7971*	-0,5318*	0,7170*
1,5 m	0,0325 ^{ns}	0,8010*	-0,5593*	0,7328*
2,0 m	0,0474 ^{ns}	0,8077*	-0,5864*	0,7462*
2,5 m	0,0576 ^{ns}	0,8139*	-0,6062*	0,7559*
3,0 m	0,0670 ^{ns}	0,8157*	-0,6264*	0,7706*
3,5 m	0,0809 ^{ns}	0,8223*	-0,6491*	0,7798*
4,0 m	0,0758 ^{ns}	0,8236*	-0,6528*	0,7880*
4,5 m	0,0820 ^{ns}	0,8324*	-0,6727*	0,7975*
5,0 m	0,0857 ^{ns}	0,8320*	-0,6765*	0,8003*
Em função da altura				
Níveis	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$	$\widehat{\beta}_3$
0,5 m	0,0492*	0,8142*	-0,6114*	0,7633*
1,0 m	0,0610*	0,8188*	-0,6437*	0,7873*
1,5 m	0,0725*	0,8209*	-0,6708*	0,8083*
2,0 m	0,0831*	0,8273*	-0,6963*	0,8237*
2,5 m	0,0919*	0,8327*	-0,7164*	0,8354*
3,0 m	0,0945*	0,8315*	-0,7267*	0,8474*
3,5 m	0,1032*	0,8374*	-0,7420*	0,8532*
4,0 m	0,0973*	0,8382*	-0,7424*	0,8585*
4,5 m	0,1009*	0,8463*	-0,7584*	0,8663*
5,0 m	0,1060*	0,8458*	-0,7608*	0,8667*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t

3.2. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL DIÂMETRO NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

Os valores dos erros relativos em porcentagem das estimativas da variável diâmetro em todos os níveis de amostragem para os grupos G1 e G2, estão, respectivamente, na Figura 2.1 e 2.2.

Na Figura 2.1, pode-se verificar uma semelhança entre as análises gráficas dos dez níveis de amostragem na estimação da variável diâmetro, mesmo com o número de dados diferentes devido ao número diferentes de seções medidas entre os níveis estudados. Pode-se ainda notar que, em todos os níveis de amostragem, o modelo tem uma leve tendência para superestimar diâmetros quando o dap > 30 cm.

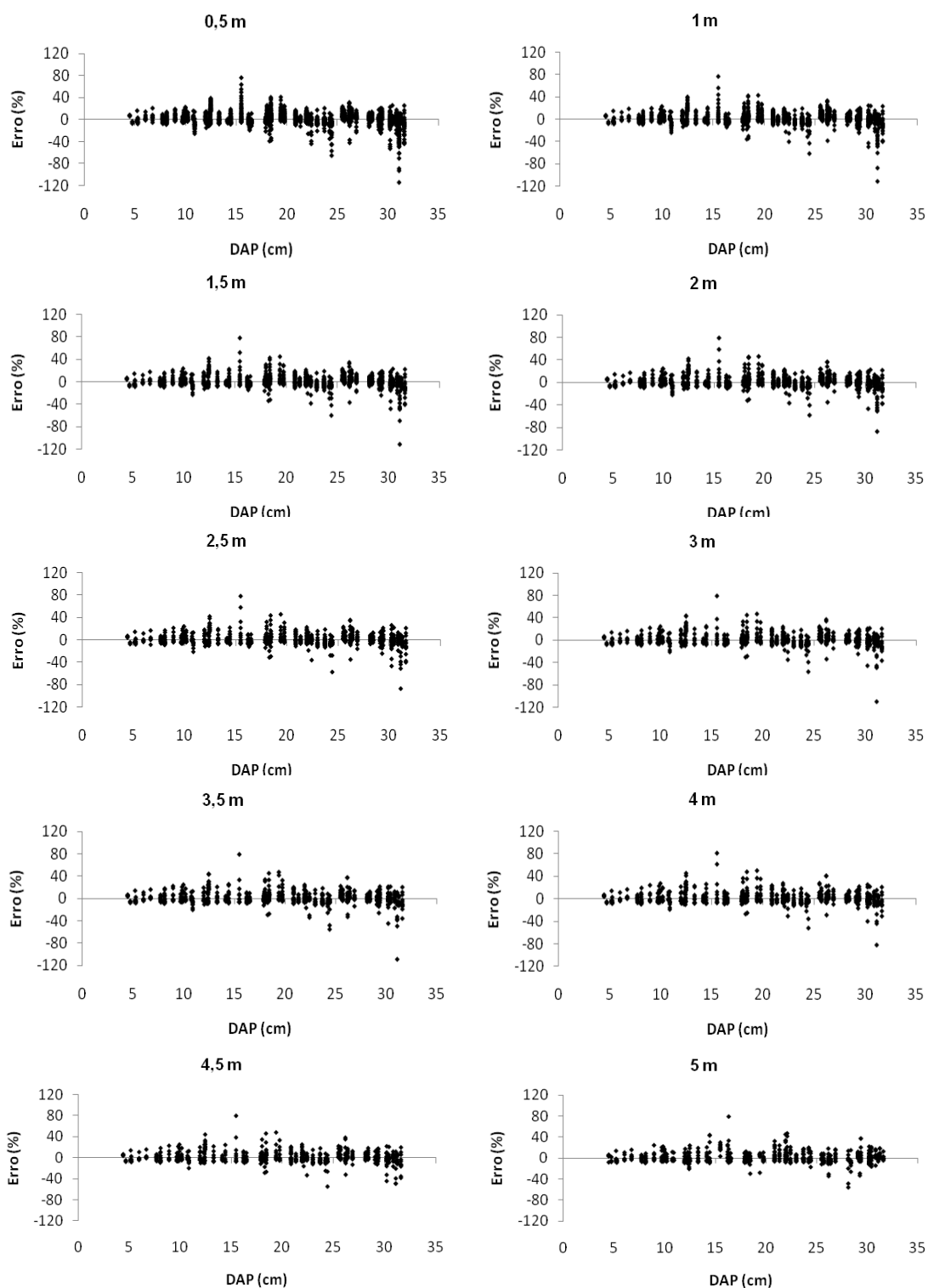


Figura 2.1. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com a influência da base.

Na Figura 2.2, pode-se notar, assim como na Figura 2.1, uma semelhança entre os erros relativos nos níveis de amostragem considerados. Observa-se também uma tendência em superestimar os diâmetros para $d_{ap} > 30$ cm, assim como nos modelos com influência da base.

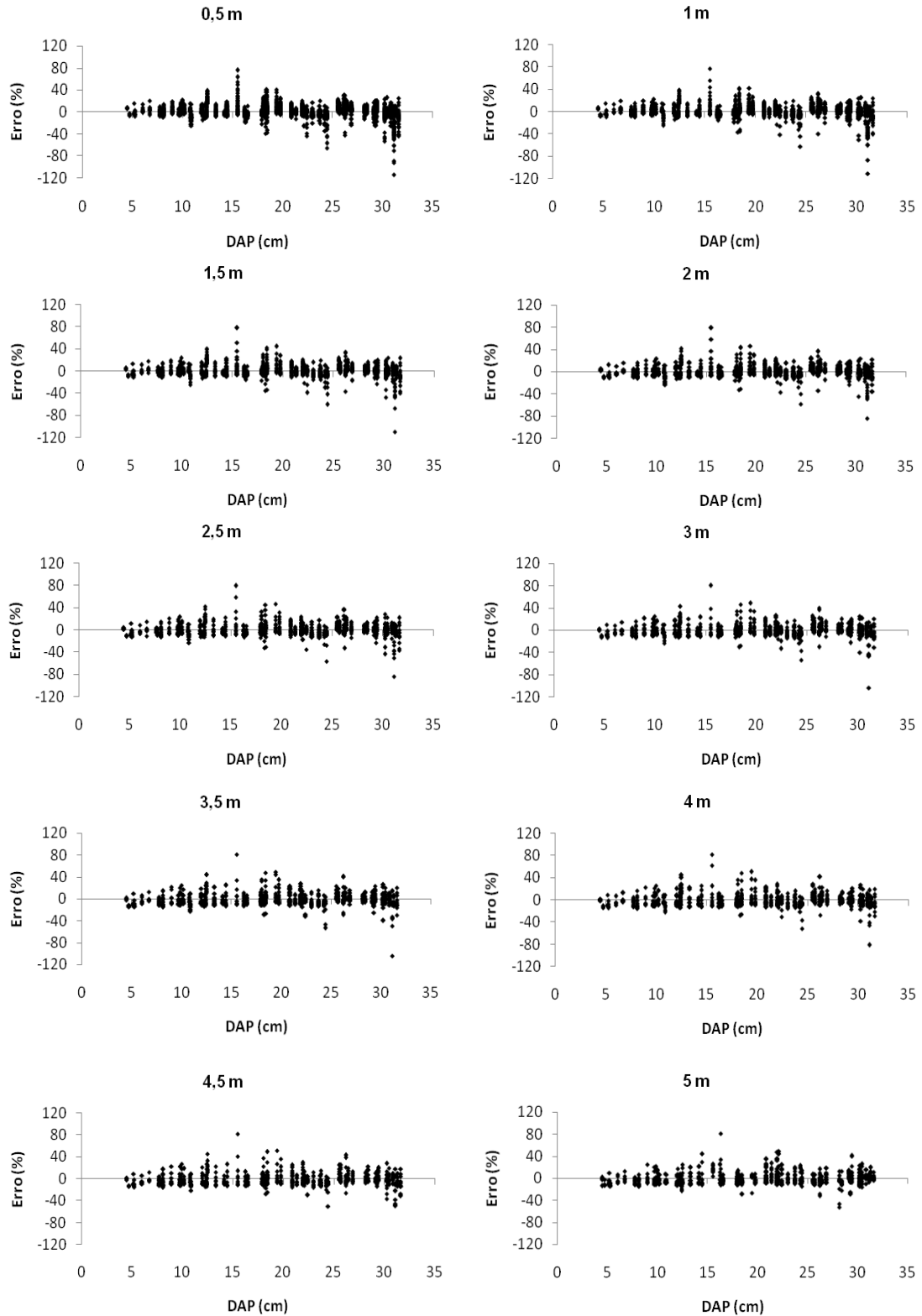


Figura 2.2. Distribuição dos resíduos da variável diâmetro usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem sem a influência da base.

Comparando as duas Figuras de maneira geral, devido ao número de dados ser diferente em cada nível de amostragem, os gráficos dos erros para o diâmetro estimado pela expressão de diâmetro apresentam semelhança entre as duas Figuras para tamanhos de seções iguais. Pode-se também observar pelos gráficos que não se pode perceber de maneira significativa que a base influenciou nas estimativas das variáveis. Desse modo, a escolha nível de amostragem mais acurado na estimação dessa variável, deve ser feita utilizando a análise gráfica e as estatísticas da Tabela 2.4.

Os resultados de R^2 , $Syx(\%)$, V , MD e DPD para todos os níveis de amostragem nos dois grupos de dados estão na Tabela 2.4. Observa-se, nessa tabela, que os valores do R^2 foram altos e próximos nos diferentes níveis de amostragem. No G1, esses valores tiveram uma variação de 96,02% para o nível de 0,5 m a 96,89% para o nível de 4,5 m. No G2, essa variação foi um pouco menor de 96,02% para o nível de 0,5 m a 96,55% para o nível de 2,5 m. Os resultados da estatística $Syx(\%)$, para ambos os casos, foram precisos em todos os níveis de amostragem (não superando os 11%). Porém, pode-se notar que os valores da estatística $Syx(\%)$ no G2 tiveram, em média um crescimento superior, de acordo com a diminuição do número de seções amostradas em relação ao G1, que apresentou erros semelhantes entre os ajustes.

Pode-se notar que os resultados da estatística R^2 em comparação com $Syx(\%)$, MD e DPD ficam contraditórios, pois a expectativa é de que com o aumento do R^2 , haja uma diminuição do $Syx(\%)$. Observa-se na Tabela 2.2 que muitas vezes a estatística R^2 não segue a tendência das estatísticas $Syx(\%)$, MD e DPD que tendem a piorar com a diminuição do número de seções amostradas, ficando mais evidenciado quando não se considera a influência da base. Isso pode ser explicado pelo fato do modelo de afilamento de Demaerschalk ser não linear e como mencionado por Regazzi (2003), para alguns modelos não lineares os valores de R^2 encontrados na literatura são, em sua maioria, próximos a 100%, mesmo havendo enorme variação entre os valores observados e preditos. Segundo Regazzi (2010), um engano comumente mantido é a crença de que o R^2 , a “proporção da variação explicada”, é usado para decidir se um modelo de regressão não-linear resulta num bom ajuste aos dados e isso só ocorre quando se tem um modelo linear

com o termo constante é que o R^2 representa a variação explicada pelo modelo. Ratkowsky (1990) afirmou que mesmo havendo enorme discrepância entre os valores observados e estimados, os modelos não-lineares podem, às vezes, apresentar valores de R^2 extremamente elevados ($R^2 = 99\%$).

Já as estatísticas V , MD e DPD mostram resultados com maior precisão e menos tendenciosos quando se considerou a influência da base no ajuste. Pela estatística viés, pode-se verificar que no caso de G1, os valores dessa estatística foram relativamente não tendenciosos, excluindo o caso do nível 4 m, onde essa estatística teve valor de 0,1108. Para o G2, observa-se que os valores tendem a aumentar com a diminuição do número de seções medidas, mostrando para os níveis abaixo de 2 m uma tendência em subestimar a variável, enquanto desse nível de amostragem para os superiores a tendência da estimativa fica superestimada.

Para a estatística MD , assim como para a estatística viés, obteve-se resultados mais precisos no grupo G1, nos níveis de amostragem com seções menores, tendo valores relativamente baixos não superando a unidade. Resultado contrário ocorre em G2, onde as estimativas perdem a precisão, à medida que diminui o número de seções medidas no fuste.

Comparando os ajustes, observa-se que o G1 teve resultados mais precisos e menos tendenciosos que o G2, verificando-se assim a influência positiva do maior número de seções medidas na base na estimativa da variável.

Tabela 2.4. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de diâmetro para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)

Ajuste com influência da base						
<i>Comprimento de seções</i>	R^2	$Syx (\%)$	V	MD	DPD	<i>Classificação</i>
0,5 m	96,02	8,97	0,0329 (1)	0,8490 (1)	1,2508 (1)	1
1,0 m	96,16	9,29	0,0413 (2)	0,9014 (2)	1,3244 (2)	2
1,5 m	96,37	9,34	0,0439 (3)	0,9245 (3)	1,3586 (3)	3
2,0 m	96,48	9,44	0,0499 (7)	0,9488 (5)	1,3861 (4)	5
2,5 m	96,66	9,26	0,0462 (4)	0,9386 (4)	1,3911 (5)	4
3,0 m	96,72	9,30	0,0481 (5)	0,9556 (6)	1,4042 (6)	6
3,5 m	96,78	9,35	0,0505 (8)	0,9730 (7)	1,4186 (7)	7
4,0 m	96,84	9,32	0,1108 (10)	0,9846 (9)	1,4193 (8)	9
4,5 m	96,89	9,23	0,0484 (6)	0,9785 (8)	1,4265 (9)	8
5,0 m	96,86	9,40	0,0550 (9)	0,9857 (10)	1,4514 (10)	10
Ajuste sem influência da base						
<i>Comprimento de seções</i>	R^2	$Syx (\%)$	V	MD	DPD	<i>Classificação</i>
0,5 m	96,02	8,97	0,0329 (3)	0,8490 (1)	1,2508 (1)	1
1,0 m	96,14	9,31	0,0510 (4)	0,9002 (2)	1,3263 (2)	2
1,5 m	96,34	9,37	0,0201 (2)	0,9395 (3)	1,3642 (3)	2
2,0 m	96,44	9,50	-0,0103 (1)	0,9797 (4)	1,3946 (4)	3
2,5 m	96,55	9,40	-0,1114 (5)	1,0146 (5)	1,4085 (5)	4
3,0 m	96,55	9,53	-0,1747 (6)	1,0606 (6)	1,4303 (6)	5
3,5 m	96,52	9,72	-0,2446 (7)	1,1191 (7)	1,4554 (7)	6
4,0 m	96,50	9,81	-0,3032 (8)	1,1461 (8)	1,4678 (8)	7
4,5 m	96,39	9,95	-0,3820 (9)	1,1927 (9)	1,4888 (9)	8
5,0 m	96,27	10,25	-0,4257 (10)	1,2309 (10)	1,5256 (10)	9

Os valores entre parênteses referem-se aos pesos

3.3. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL ALTURA NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

A análise gráfica de resíduos das estimativas de altura para todos os níveis de amostragem nos grupos 1 e 2 estão representados, respectivamente, nas Figuras 2.3 e 2.4.

Na Figura 2.3, os resultados dos gráficos de resíduos para os níveis de amostragem no grupo de dados 1 são semelhantes. Estes apresentam resultados de superestimações em todas as classes de diâmetro para todos os níveis de amostragem. Isso aconteceu pelo fato desse grupo ter considerado a influência da base e como o modelo não tem precisão para estimar seções menores, aumentam assim os valores dos erros de superestimação, prejudicando as estatísticas.

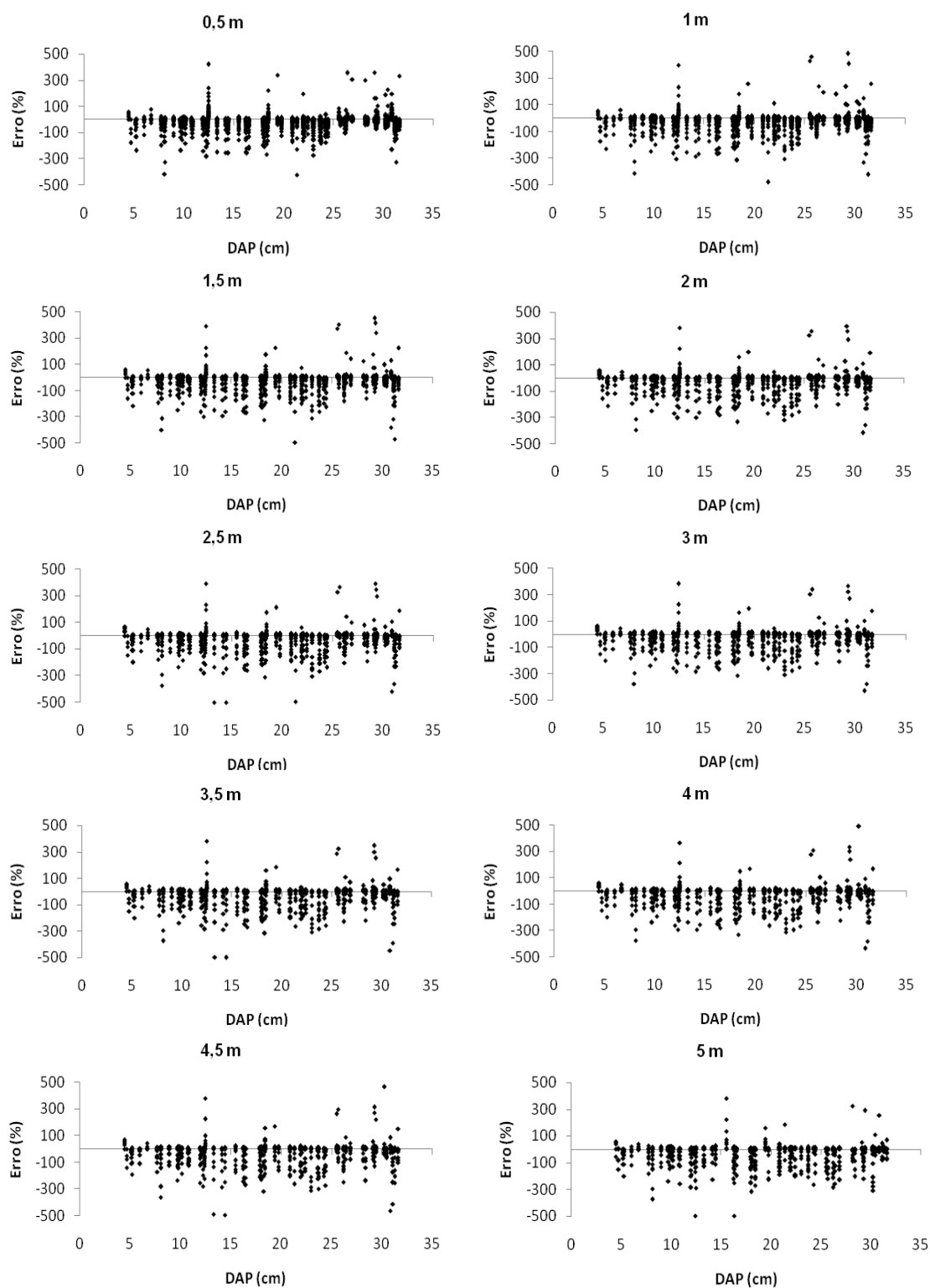


Figura 2.3. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com influência da base.

Na Figura 2.4, pode-se observar em todas as estimativas nos níveis de amostragem uma tendência em superestimar a altura em todas as classes de diâmetro. Pode-se verificar que, à medida que os níveis de amostragem aumentam e há menor quantidade de seções medidas, as estimativas da variável altura superestimam com maior intensidade quando comparadas ao verdadeiro valor e como os modelos de afilamento não são precisos para estimar alturas em seções menores, os gráficos ficam com valores de erros relativos maiores, justificando o maior número de superestimações ocorridas.

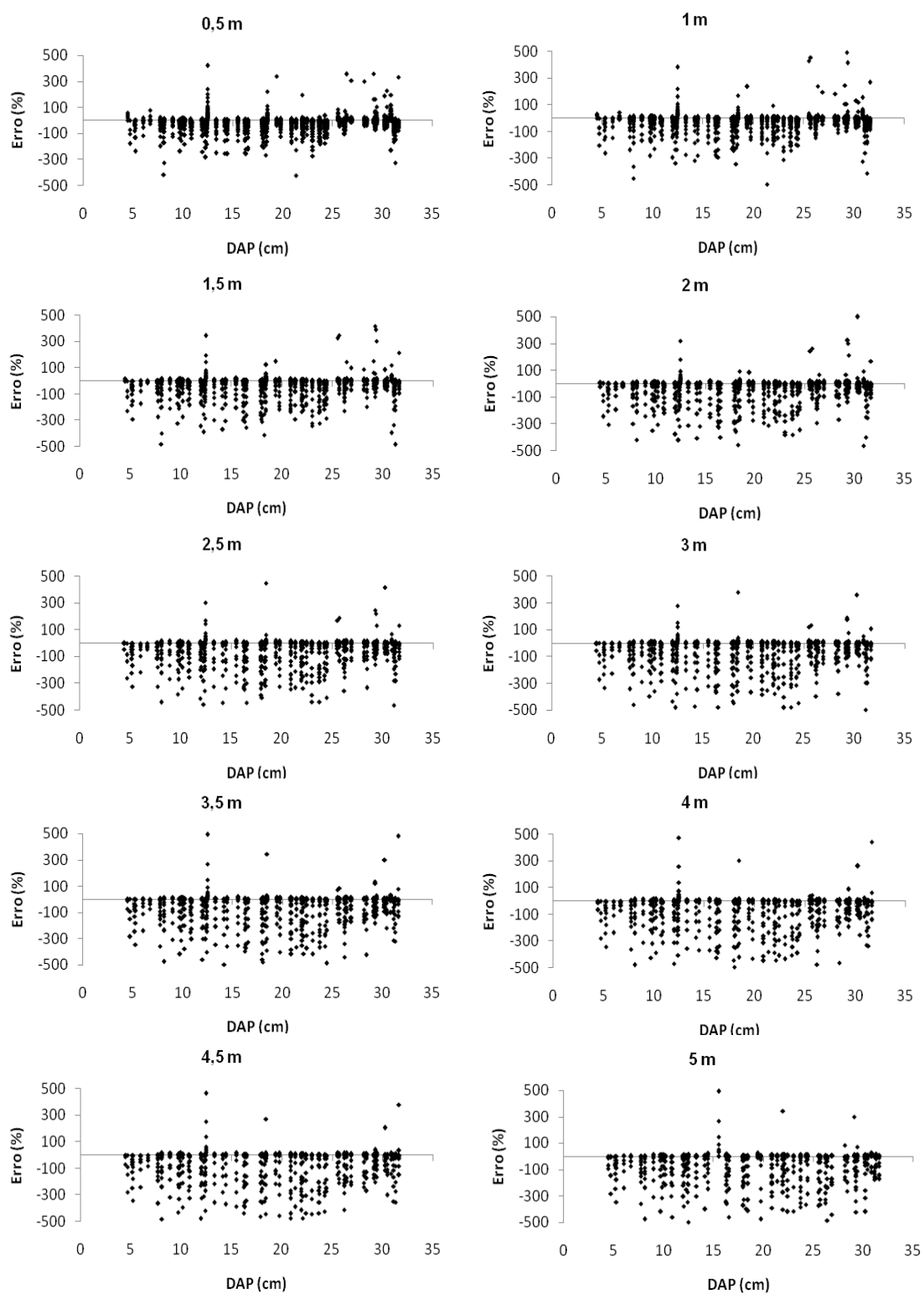


Figura 2.4. Distribuição dos resíduos da variável altura usando as estimativas dos parâmetros da expressão de altura, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados sem a influência da base.

Confrontando os resultados das duas Figuras, para o grupo 1 e 2, nota-se que os erros relativos nos resultados sob a influência da base são menores do que o grupo sem a influência da base. Porém, isso não garante que as estimativas sejam melhores no G1 sobre o G2. Devem-se levar em consideração na definição do melhor nível de amostragem as análises de resíduos conjuntamente com as estatísticas V , MD e DPD .

Na Tabela 2.5, estão os resultados das estatísticas de precisão analisadas para os grupos com e sem influência da base. Os valores de R^2 não tiveram resultados tão altos quanto para as outras variáveis em estudo com valores entre 92 e 94%, considerando ambos os grupos de dados em todos os níveis de amostragem. Já os valores de $Syx(\%)$, assim como ocorreu para a variável diâmetro, foram melhores no grupo com influência da base, mesmo com valores altos (superior a 15%). Os resultados dos valores do erro de amostragem do G2 tiveram um aumento superior em relação ao G1 à medida que diminuía o número de seções medidas no fuste iniciando com um erro de 15,07% no nível de amostragem de 0,5 m chegando a 30,59% no nível de amostragem de 5 m. Esses valores indicam que o menor número de seções com comprimento de seções menores aumentam os valores dos erros, já que as equações de afilamento não são precisas para estimar a variável altura como ocorre com o diâmetro e volume. Os valores de R^2 , assim como ocorreu para a variável diâmetro, tiveram resultados equivocados com as outras estatísticas.

Em relação aos resultados encontrados na estatística $Syx(\%)$ para a variável altura em comparação ao diâmetro, nota-se que para altura os valores dos erros aumentaram à medida que diminuía o número de seções medidas. Para a variável diâmetro os erros foram próximos em relação aos diferentes níveis de amostragem. No G2, pode-se ainda verificar que $Syx(\%)$ teve seu valor dobrado quando se compara o nível de 0,5 m com o nível de 5 m. Outro fato importante a se considerar é que mesmo com a dificuldade de estimar alturas menores, os resultados dessa estatística foram melhores quando se considerou a influência da base no ajuste, demonstrando assim que mais medições na base contribui para melhores estimativas no cálculo das alturas ao longo do fuste.

Assim como aconteceu para a variável diâmetro, na estatística viés, a tendência dos erros tende a aumentar com a diminuição do número de seções medidas no tronco para ambos os grupos de dados, mostrando tendência em estimar essa variável. Na estatística média das diferenças, os valores de *MD* indicaram menor precisão (superiores a 1,2735), indicando assim que os ajustes não tiveram precisão nas estimativas obtidas, como pode ser visto na análise gráfica de resíduos, havendo uma tendência em superestimar a altura em todos os níveis de amostragem para ambos os casos.

Ao observar os grupos, e desconsiderar algumas variações nas estatísticas, pode-se notar que para essa variável, o grupo com influência da base teve resultados mais precisos, mesmo com o maior número de seções com comprimentos de menor magnitude.

Tabela 2.5. Estatísticas R^2 , $Syx(\%)$, viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de altura para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)

Ajuste com influência da base						
Comprimento de seções	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
0,5 m	94,61	15,07	0,0577 (1)	1,2735 (1)	1,7282 (1)	1
1,0 m	94,67	17,11	0,0741 (2)	1,3558 (2)	1,8180 (2)	2
1,5 m	94,73	18,99	0,0810 (3)	1,3968 (3)	1,8673 (3)	3
2,0 m	94,81	20,07	0,0908 (4)	1,4320 (4)	1,8968 (4)	4
2,5 m	94,64	22,37	0,0939 (5)	1,4494 (5)	1,9228 (5)	5
3,0 m	94,64	23,39	0,0965 (6)	1,4724 (6)	1,9385 (6)	6
3,5 m	94,72	24,07	0,1021 (7)	1,4955 (7)	1,9500 (7)	7
4,0 m	94,70	24,88	0,1492 (10)	1,5076 (9)	1,9525 (8)	9
4,5 m	94,63	25,99	0,1051 (8)	1,4970 (8)	1,9586 (9)	8
5,0 m	94,53	26,82	0,1127 (9)	1,5273 (10)	1,9848 (10)	10
Ajuste sem influência da base						
Comprimento de seções	R^2	$Syx(\%)$	V	MD	DPD	Classificação
0,5 m	94,61	15,07	0,0577 (2)	1,2735 (1)	1,7282 (1)	1
1,0 m	94,65	17,13	0,0071 (1)	1,3661 (2)	1,8216 (2)	2
1,5 m	94,64	19,15	-0,1197 (3)	1,4454 (3)	1,8814 (3)	3
2,0 m	94,63	20,41	-0,2045 (4)	1,5101 (4)	1,9210 (4)	4
2,5 m	94,14	23,39	-0,4182 (5)	1,6044 (5)	1,9695 (5)	5
3,0 m	93,94	24,88	-0,5202 (6)	1,6617 (6)	1,9984 (6)	6
3,5 m	93,79	26,10	-0,6219 (7)	1,7256 (7)	2,0237 (7)	7
4,0 m	93,56	27,42	-0,7034 (8)	1,7627 (8)	2,0404 (8)	8
4,5 m	93,20	29,24	-0,8040 (9)	1,8055 (9)	2,0548 (9)	9
5,0 m	92,89	30,59	-0,8724 (10)	1,8623 (10)	2,0925 (10)	10

Valores entre parênteses referem-se aos pesos

3.4. ANÁLISE GRÁFICA DOS RESÍDUOS E DAS ESTATÍSTICAS PARA A VARIÁVEL VOLUME NOS DIFERENTES NÍVEIS DE AMOSTRAGEM

As Figuras 2.5 e 2.6 representam, respectivamente, a análise gráfica de resíduos da variável volume estimada com a influência da base (G1) e sem a influência da base (G2).

Pelos resultados apresentados na Figura 2.6, o nível de amostragem de 0,5 apresentou erros relativos menores que os outros níveis de amostragem estudados. Os outros níveis mostram uma tendência em superestimar os volumes, à medida que se aumenta o tamanho das seções de medição no fuste. Observa-se também que com a diminuição do número de seções medidas no fuste, os volumes estimados tendem a superestimar os volumes encontrados pela fórmula de Smalian. Soares et al. (2010), analisando as estimativas de volume total de *Eucalyptus grandis* para seções de 1, 2 e 3 m de comprimento, concluíram que o aumento do tamanho das seções do fuste levam a superestimações da parte basal e conseqüentemente, no volume total.

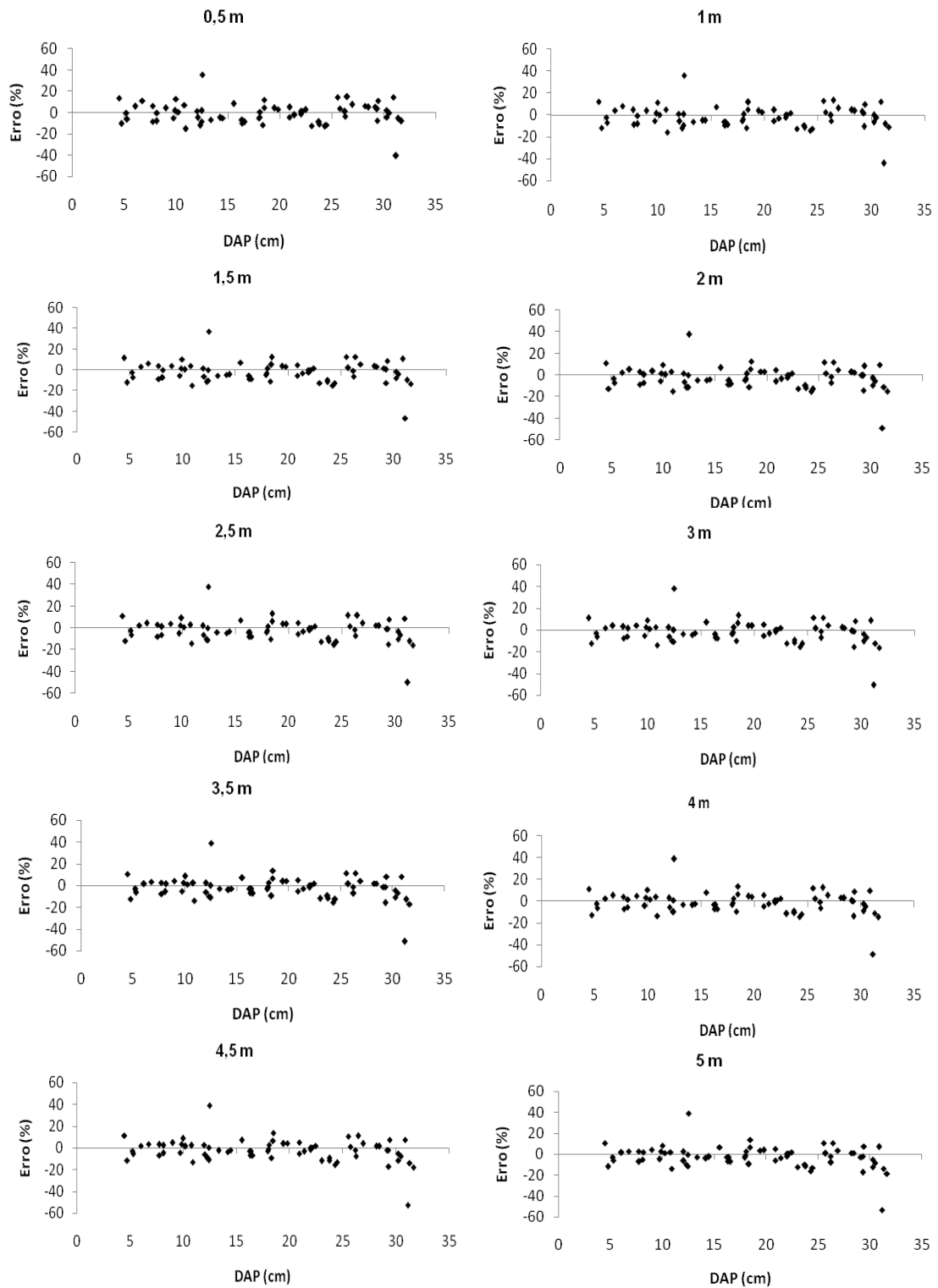


Figura 2.5. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados com influência da base.

Pelos resultados apresentados na Figura 2.6, assim como os resultados mostrados para as estimações no G1, o nível de amostragem de 0,5 apresentou erros relativos menores que os outros níveis de amostragem estudados. Os outros níveis mostram uma tendência em superestimar os volumes, à medida que se aumenta o tamanho das seções de medição no fuste.

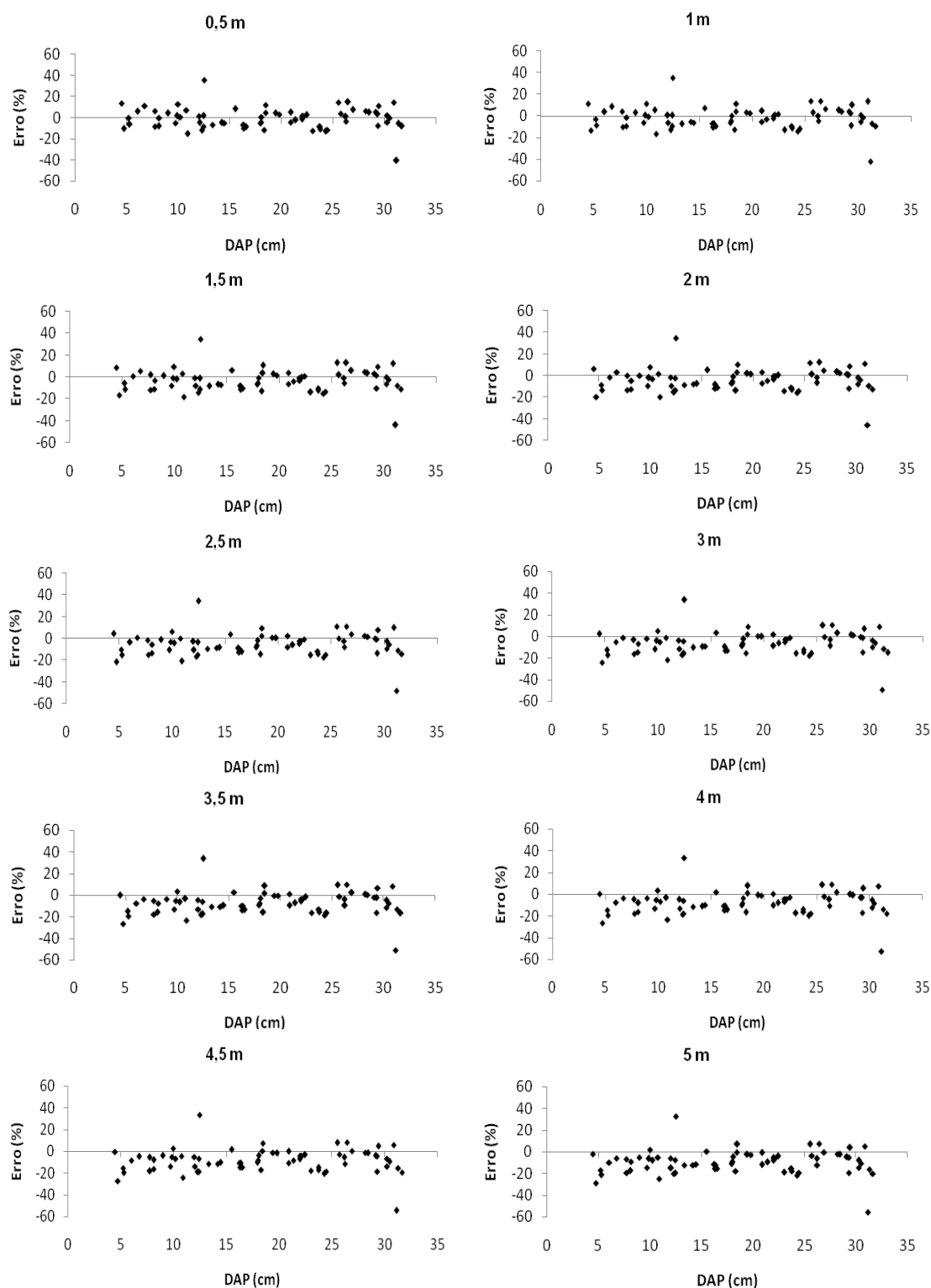


Figura 2.6. Distribuição dos resíduos da variável volume usando as estimativas dos parâmetros da expressão de diâmetro, em porcentagem, em função do *dap*, para os dez níveis de amostragem analisados sem a influência da base.

Comparando os resultados das estimativas de G1 e G2, para a variável volume, pode-se notar que ao considerar a influência da base, os resultados das estimativas são mais precisos do que quando não se considera essa influência para todos os níveis de amostragem. Isso pode ser observado nos gráficos de resíduos em que para um mesmo nível de amostragem, há maior valor na superestimação do volume no G2. Pode-se assim afirmar que a base influencia no ajuste, melhorando a estimativa dessa variável. Soares et al. (2010), em seu estudo sobre a influência das seções na estimativa de volume total de fuste de *Eucalyptus grandis*, concluíram que quando se usa a fórmula de Smalian, seções com escala superior a 2 m devem ser evitadas, devendo, nesse caso, ser utilizando seções com tamanhos menores na base.

De acordo com a Tabela 2.6 os valores da estatística R^2 foram altos para todas as estimativas em todos os níveis de amostragem (superior a 95%). Porém, as estimativas com influência da base tiveram um resultado mais constante dessa estatística (variação de 96 a 97%), enquanto o ajuste sem influência da base teve uma maior variação desses valores (variação de 94 a 97%). Isso pode ser verificado nos gráficos de resíduos sob influência da base, que estimam com maior veracidade os valores das estimativas. Essa mesma regularidade pode ser analisada pela estatística $Syx(\%)$, que apresenta resultados em média mais baixos para o G1 em relação ao G2.

Para a estatística $Syx(\%)$, os valores dos erros nas estimativas da variável volume ficaram intermediários entre os valores apresentados para as variáveis diâmetro e altura. Pode-se notar que, como o volume é a integral da equação de diâmetro, e como essa estatística teve resultados precisos de erros, resultados precisos também podem ser verificados na estimativa dessa variável, que apresentou no G1 erros que não superaram o menor erro apresentado pela variável altura.

Para as estatísticas V , MD e DPD (Tabela 2.6), os valores das estatísticas para as estimativas nos diferentes níveis de amostragem para o G1 e G2 foram precisos, não ultrapassando o valor da unidade. As tendências das estimativas, como observadas na análise gráfica, superestimam os valores das variáveis, à medida que se aumenta o nível de amostragem e diminui o número de seções. Mas, essas tendências considerando cada nível de amostragem

foram menores no grupo que leva em consideração a influência da base. Já para a estatística média das diferenças, nas diferentes intensidades de amostragem para ambos os grupos, a precisão dos ajustes foi melhor no grupo de dados 1.

Confrontando os resultados, pode-se notar que as estimativas do G1 foram mais precisas que as estimativas do G2, demonstrando menor superestimação das estimativas de volume. Pode-se também afirmar que a presença de mais medições na base oferece uma melhor estimativa do volume no nível de amostragem considerado.

Tabela 2.6. Estatísticas R^2 , Syx(%), viés (V), média das diferenças absolutas (MD), desvio padrão das diferenças (DPD) e a classificação para as estimativas de volume para os ajustes com influência (G1) e sem influência da base (G2)

Ajuste com influência da base						
Comprimento de Seções	R^2	Syx (%)	V	MD	DPD	Classificação
0,5 m	97,23	12,89	-0,0001 (1)	0,0275 (2)	0,0472 (1)	1
1,0 m	97,14	13,11	-0,0048 (2)	0,0273 (1)	0,0477 (2)	2
1,5 m	96,98	13,45	-0,0071 (4)	0,0276 (3)	0,0487 (3)	3
2,0 m	96,82	13,82	-0,0092 (5)	0,0279 (4)	0,0497 (4)	5
2,5 m	96,70	14,07	-0,0094 (7)	0,0282 (5)	0,0506 (6)	6
3,0 m	96,66	14,17	-0,0093 (6)	0,0283 (6)	0,0509 (7)	7
3,5 m	96,55	14,40	-0,0102 (8)	0,0286 (7)	0,0516 (8)	8
4,0 m	96,85	13,75	-0,0065 (3)	0,0276 (3)	0,0498 (5)	4
4,5 m	96,39	14,72	-0,0113 (9)	0,0290 (8)	0,0526 (9)	9
5,0 m	96,33	14,83	-0,0119 (10)	0,0291 (9)	0,0529 (10)	10
Ajuste sem influência da base						
Comprimento de Seções	R^2	Syx (%)	V	MD	DPD	Classificação
0,5 m	97,23	12,89	-0,0001 (1)	0,0275 (1)	0,0472 (1)	1
1,0 m	97,20	12,96	-0,0034 (2)	0,0275 (1)	0,0473 (2)	2
1,5 m	97,12	13,15	-0,0069 (3)	0,0279 (2)	0,0476 (3)	3
2,0 m	96,97	13,49	-0,0105 (4)	0,0286 (3)	0,0481 (4)	4
2,5 m	96,73	14,02	-0,0146 (5)	0,0298 (4)	0,0490 (5)	5
3,0 m	96,56	14,37	-0,0170 (6)	0,0308 (5)	0,0496 (6)	6
3,5 m	96,22	15,07	-0,0208 (7)	0,0326 (6)	0,0508 (7)	7
4,0 m	95,92	15,65	-0,0238 (8)	0,0343 (7)	0,0517 (8)	8
4,5 m	95,49	16,44	-0,0270 (9)	0,0362 (8)	0,0533 (9)	9
5,0 m	95,22	16,95	-0,0294 (10)	0,0378 (9)	0,0541 (10)	10

Valores entre parênteses referem-se aos pesos

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados, pode-se inferir que:

a) As estimativas de diâmetro foram menos tendenciosas e mais precisas, quando as estimativas dos parâmetros utilizados vieram dos ajustes com influência da base.

b) As estimativas de altura foram mais precisas nos resultados do grupo com influência da base, mostrando que mesmo as funções de afilamento não sendo precisas em estimar valores pequenos de seções, esses valores mensurados utilizados no ajuste, ajudam nas estimativas das seções com maior magnitude no fuste.

c) Para a variável volume, os resultados considerando a influência da base foram mais precisos nos resultados de todos os níveis de amostragem em comparação ao grupo sem influência da base.

d) A influência de medir o maior número de seções na base foi mais precisa nos resultados nas estimativas das três variáveis apresentadas, principalmente para o volume total estimado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELO, H.; CASTRO, L. H. R.; HOSOKAWA, R. T.; KIRCHNER, F. F. Análise de componentes principais e função spline para definir a forma do tronco de pinus tropicais. **Revista Floresta**, v.25, n.12, p.55-67, 1995.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 3.ed, 548 p., 2009.

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

GOULDING, C. J. Cubic spline curves and calculation of volume of sectionally measured trees. **New Zealand Journal of Forest Science**, v. 9, n. 1, p. 89-99, 1979.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest mensuration**. 4.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 443 p., 2003.

KVALSETH, T. O. Cautionary note about R^2 . **The American Statistician**, v. 39, n.4, p. 279-285, 1985.

RATKOWSKY, D.A. **Handbook of nonlinear regression models**. New York: Marcel Dekker Inc., 241p., 1990.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n.3, p. 315-320, 2010.

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

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 276 p., 2006.

SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. da.; MARTINS, F. B. Influence of section lengths on volume determination in Eucalyptus trees. **Revista Cerne**, v. 16, n. 2, p. 155-162, 2010.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo I, pode-se constatar que as estimações de diâmetro, altura para os modelos de Baldwin, Demaerschalk, Kozak e Ormerod foram melhores quando se utiliza as estimativas dos parâmetros das expressões da própria variável em relação às estimativas dos parâmetros do modelo original. Para a variável volume, os resultados obtidos com as estimativas dos parâmetros da equação de diâmetro foram melhores.

Fica evidenciado então que com o desenvolvimento das tecnologias de *hardware* e facilidades de novos *softwares*, principalmente na área estatística, o ajuste das equações em função das próprias variáveis devem ser feitas no lugar do ajuste em função da relação (d/dap) ou $(d/dap)^2$. Esses ajustes provavelmente produzirão uma melhor resposta das estimações em relação aos verdadeiros valores observados.

No capítulo II, pode-se observar que os níveis com que os fustes são amostrados influenciam nas estimações das variáveis, principalmente no caso do volume. Notou-se, pelos resultados, que a diminuição do número de seções medidas superestima os valores de volumes totais. Foi observado também que a base influencia de maneira significativa na estimação dos valores de volume, que tiveram resultados melhores do que quando não se considerou este efeito.

Assim, no processo de cubagem, o nível de amostragem considerado deve ser analisado de acordo com os objetivos da empresa. Nesse processo de cubagem, deve-se então, fazer a máxima quantidade de medições possíveis da base até os 2 metros de altura para obter estimativas mais fidedignas do volume e, conseqüentemente, estimar com maior clareza a produção.