

EDMILSON JORGE FRANCO

**ESTUDO DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DE VOLUME, BIOMASSA E
NÍVEIS DE PRODUTIVIDADE PARA *Eucalyptus camaldulensis***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de Concentração em Produção Florestal, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:
Prof. José Roberto Soares Scolforo

LAVRAS - MINAS GERAIS

1996

Faint, illegible text at the top left of the page.



Faint, illegible text on the right side of the page.

Faint, illegible text at the bottom left of the page.

p

00135

MFN=26761

EDMILSON JORGE FRANCO

**ESTUDO DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DE VOLUME, BIOMASSA E
NÍVEIS DE PRODUTIVIDADE PARA *Eucalyptus camaldulensis***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de Concentração em Produção Florestal, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador:

Prof. José Roberto Soares Scolforo

LAVRAS - MINAS GERAIS

1996

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da
Biblioteca Central da UFLA

Franco, Edmilson Jorge
Estudo dos métodos estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para eucalyptus camaldulensis / Edmilson Jorge Franco. -- Lavras : UFLA, 1996.

103 p. : il.

Orientador: José Roberto Soares Scolforo.
Dissertação (Mestrado) - UFLA.
Bibliografia.

1. Eucalipto - Biomassa. 2. Volume. 3. Produtividade. 4. Povoamento. 5. Produção florestal. 6. Manejo. 7. Densidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-634.97342

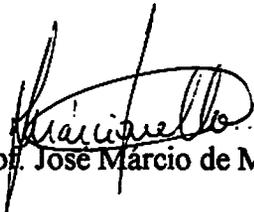
EDMILSON JORGE FRANCO

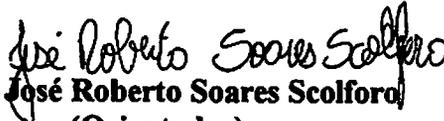
**ESTUDO DOS MÉTODOS ESTIMATIVOS DE VOLUME, BIOMASSA E
NÍVEIS DE PRODUTIVIDADE PARA *Eucalyptus camaldulensis***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de Concentração em Produção Florestal, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 26 de dezembro de 1996


Prof. Antônio Donizette de Oliveira


Prof. José Márcio de Mello


Prof. José Roberto Soares Scolforo
(Orientador)

Aos meus pais Palulo Franco e Lilia,
por toda força desprendida.

À minha esposa pelo apoio.

Aos meus irmãos pela amizade.

Aos meus amigos (as),

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), pela oportunidade de realização do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro;

À empresa Mannesmann Florestal Ltda., por propiciar a oportunidade de desenvolvimento do trabalho em sua área, mostrando como esta ligada a Universidade e preocupada com a busca de novas técnicas, e em especial o apoio dos Engenheiros Antônio Claret de Oliveira e Érico José de Moraes;

Ao prof. José Roberto Scolforo pela orientação dedicada sem medir esforços, e muito mais pela amizade e conselhos nos momento difíceis;

Ao professor Antônio Donizette pela colaboração e sugestões;

Ao amigo e professor José Márcio de Mello pela colaboração e apoio no desenvolvimento e análise dos dados. E ao também amigo Aguinaldo que me deu um grande apoio no desenvolvimento dos trabalhos.

Aos meus amigos Leonardo e Deny pelo apoio durante nossas caminhadas na vida.

MUITO OBRIGADO

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
1. EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	04
1.1 INTRODUÇÃO.....	04
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	06
1.2.1 Caracterização da área.....	06
1.2.2 Levantamento de dados.....	07
1.2.3 Equações de volume.....	09
1.2.3.1 Modelos de Simples Entrada.....	09
1.2.3.2 Modelos de Dupla Entrada.....	10
1.2.3.3 Métodos dos Dois Diâmetros.....	11
1.2.3.4 Fator de Forma.....	13
1.2.3.5 Equação do Povoamento.....	14
1.2.3.6 Associação da Relação Hipsométrica à Equação de volume de Dupla Entrada.....	15
1.2.4 Critérios para Seleção dos Modelos.....	17
1.2.5 Aplicabilidade do Modelo.....	17
1.2.6 Identificação do Ponto Médio na Árvore para tomar Espessura de casca.....	19
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
1.3.1 Métodos de estimativa de volume.....	20
1.3.1.1 Estimativa do volume através da equação de simples entrada.....	20
1.3.1.2 Estimativa do volume através da equação de dupla entrada.....	22
1.3.1.3 Estimativa do volume através do método dois diâmetros.....	24
1.3.1.4 Estimativa do volume através da equação do povoamento.....	28
1.3.1.5 Estimativa do volume através do fator de forma.....	29
1.3.1.6 Relação hipsométrica associada à equação de volume de dupla entrada.....	29
1.3.2 Teste de Aplicidade.....	30
1.3.3 Eficiência dos métodos sob estudo.....	33
1.3.4 Espessura de Casca.....	39
1.4 CONCLUSÃO.....	42

2.	ANÁLISE AS METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DO ESTOQUE DA BIOMASSA FLORESTAL E A DETERMINAÇÃO DO PONTO ÓTIMO NA ÁRVORE PARA OBTENÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA EM <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	43
2.1	INTRODUÇÃO.....	43
2.2	MATERIAL E MÉTODO.....	45
2.2.1	Região.....	45
2.2.2	Levantamento de dados.....	46
2.2.3	Modelos para expressar Biomassa (Peso Seco).....	48
2.2.3.1	Modelos de Simples Entrada.....	49
2.2.3.2	Modelos de Dupla Entrada.....	49
2.2.3.3	Modelo de Dupla Entrada com Relação Hipsométrica.....	50
2.2.3.4	Métodos de Dois Diâmetros.....	51
2.2.3.5	Ponto Ótimo para Obter Densidade Básica da Madeira.....	53
2.2.3.6	Crítérios para Seleção dos Modelos.....	54
2.2.3.7	Eficiência dos Procedimentos.....	55
2.3	RESULTADOS.....	56
2.3.1	Estimativa do peso seco através da equação de simples entrada.....	56
2.3.2	Estimativa do peso seco através da equação de dupla entrada.....	57
2.3.3	Relação hipsométrica associada a equação de biomassa de dupla entrada.....	60
2.3.4	Estimativa do Peso Seco através do método dos Dois Diâmetros.....	60
2.3.5	Eficiência dos Métodos sob Estudo.....	62
2.3.6	Definição do ponto ótimo para tomada de material lenhoso para obter densidade básica	67
2.4	CONCLUSÃO.....	71
3.	CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PROVENIENTES DE UM MODELO POLIMÓRFICO PELO MÉTODO DA DIFERENÇA ALGÉBRICA PARA <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	73
3.1	INTRODUÇÃO.....	73
3.2	MATERIAL E MÉTODO.....	76
3.2.1	Caracterização da área.....	76
3.2.2	Caracterização da base de dados.....	77
3.2.3	Método da Diferença Algébrica.....	78
3.2.3.1	Modelos Testados.....	80
3.2.3.2	Desenvolvimento e/ou Apresentação da Formulação da Diferença Algébrica.....	80
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
3.4	CONCLUSÃO.....	94
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
01	Distribuição de freqüência das árvores amostradas na cubagem rigorosa por classe de DAP e classe de altura.....	08
02	Modelos matemáticos baseados em uma única variável o diâmetro a 1,30m.....	09
03	Modelos matemáticos baseados nas variáveis diâmetro e altura.....	10
04	Modelos matemáticos baseados no diâmetro nas alturas de 0,30m; 0,60m; 0,90m; 1,20m; 1,50m; 1,80m; 2,10m; 2,40m; 2,70m; 3,00m; em relação ao DAP	13
05	Modelos matemáticos e logarítmicos que expressam o desenvolvimento do volume por unidade de área.....	14
06	Modelos hipsométricos típicos.....	15
07	Modelos para expressar o ponto de amostragem da espessura de casca para <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	19
08	Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de simples entrada	20
09	Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de dupla entrada.....	22
10	Correlação entre volumes das seções e volume da árvore.....	25
11	Parâmetros estimados e as medidas de precisão das equações entre os diâmetros 1,30m e 3,00m.....	26
12	Valores médios dos fatores de forma para estimativa de volume.....	29
13	Equações hipsométricas e suas medidas de precisão.....	30

Tabela	Página
14	Volume real médio com casca, e volumes médios estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento 1)..... 31
15	Volume real médio sem casca, e volumes médios estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento 2)..... 32
16	Volume real médio com casca, até 3cm de diâmetro com casca e os estimados pelos métodos sob estudo (experimento 3)..... 32
17	Volume real médio sem casca, até 3cm de diâmetro com casca e os estimados pelos métodos sob estudo (experimento 4)..... 33
18	Análise de variância do volume total com casca..... 34
19	Resultado das comparações pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume total com casca..... 34
20	Análise de variância do volume sem casca..... 35
21	Comparações pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume total sem casca..... 36
22	Análise de variância do volume comercial com casca até diâmetro mínimo de 3cm com casca..... 36
23	Comparações pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume com e sem casca até diâmetro de 3cm com casca..... 37
24	Análise de variância do volume até diâmetro mínimo de 3cm sem casca..... 38
25	Comparações pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para volume até diâmetro mínimo de 3cm com casca..... 38
26	Equações que melhor estimam a espessura de casca de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , em relação a uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore .. 40
27	Equações para estimativa da espessura de casca de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , em relação a mais de uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore..... 42
1	Distribuição de frequência das árvores amostradas na cubagem rigorosa por classe de DAP e classe de altura..... 47
2	Modelos de simples entrada para biomassa..... 49

Tabela	Página
3 Modelos de dupla entrada para biomassa.....	50
4 Modelos hipsométricos típicos.....	51
5 Modelos matemáticos para estimativa do diâmetro a diferentes alturas.....	53
6 Modelos ajustados para identificar ponto de amostragem para densidade básica da madeira.....	54
7 Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco.....	56
8 Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco.....	58
9 Equações hipsométricas e suas medidas de precisão.....	60
10 Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco.....	61
11 Pesos secos médios total com casca, e os estimados pelos quatro métodos sob estudo (experimento 1).....	63
12 Pesos secos médios total real com casca, e os estimados pelos métodos sob estudo (experimento 2).....	63
13 Pesos secos médios total com casca, e os estimados pelos métodos sob estudo (experimento 3).....	64
14 Pesos secos médios total com casca, e os estimados pelos métodos sob estudo (experimento 4).....	64
15 Análise de variância peso seco total com casca.....	65
16 Análise de variância peso seco total sem casca.....	65
17 Análise de variância peso seco até 3cm sem casca	66
18 Análise de variância peso seco até 3cm com casca	66
19 Resultado das comparações pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....	66
20 Equações para estimativa da densidade básica da madeira de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , em relação a posição de amostragem na árvore.....	67

Tabela		Página
01	Distribuição das parcelas por classe de sítio para <i>Eucalyptus camaldulensis</i>	77
02	Parâmetros estimados e medidas de precisão dos ajustes anamórficos para estimativa de índice de sítio.....	86
03	Ajuste de curvas polimórficas para estimativa de índice de sítio.....	88
04	Resultados de escores anamórficos e polimórficos das equações ajustadas para 20 parcelas na idade de plantio 1989.....	91
05	Resultados de escores anamórficos e polimórficos das equações ajustadas para 11 parcelas na idade de plantio 1990.....	91
06	Resultados de escores anamórficos e polimórficos das equações ajustadas para 19 parcelas na idade de plantio 1991.....	91
07	Resultados de escores anamórficos e polimórficos das equações ajustadas para 50 parcelas na idade de plantio 1989.....	91
08	Representação dos limites inferiores e superiores da equação de Schumacher-2 polimórfica.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figuras		Página
01	Área de realização.....	07
02	Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume total com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d).....	21
03	Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d).....	23
04	Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d).....	27
05	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação do povoamento.....	28
06	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,60cm (a); 0,90m (b); 1,20m (c), 1,30m (d), 1,50m(e) e 1,80m(f).....	41
07	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,30m, 1,30m, 1,80m e 3,00m (a); 1,50m e 1,80m(b).....	42
01	Área de realização do estudo.....	46
02	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d)	57
03	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d)	59

Figuras	Página
04	Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3cm de diâmetro com casca (d) 62
05	Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para base (a), para 1 m (b), para o DAP (c) e para altura de 2 metros (d)..... 68
06	Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para 3,00 m (a), para 4 m (b), para 5 m (c) e para altura de 6 metros (d)..... 69
07	Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para as posições de 1, 3 e 6 metros 70
01	Área de realização do estudo..... 76
02	Distribuição gráfica dos resíduos para equações de sítio anamórficas: Schumacher-1 (a), Schumacher-2 (b), Chapman-Richards (c), Bailey-3 (d) e Bailey-4 (e) 87
03	Distribuição gráfica dos resíduos para equações de sítio polimórficas: Schumacher-1 (a), Schumacher-2 (b), Chapman-Richards (c), Bailey-4 (d), Clutter polimórfica (e) e Shumacher logarítmica (f)..... 90
04	Limites das curvas de índice de sítio polimórficas para <i>Eucalyptus camaldulensis</i> 94

RESUMO

FRANCO, Edmilson Jorge. **Estudo dos Métodos Estimativos de volume, biomassa e níveis de produtividade para *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras: UFLA, 1996. 100p. (Dissertação - Mestrado em Produção florestal)*

O presente trabalho teve os seguintes objetivos: a) selecionar e testar a eficiência da equação de volume de dupla entrada, da equação de volume de dupla entrada associada a relação hipsométrica, da equação de volume de simples entrada, da equação do povoamento, do fator de forma e do método dos dois diâmetros para estimativa do volume de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*, e ainda verificou o ponto onde a espessura de casca é representativa para toda a árvore; b) testar modelos de simples, dupla entrada, associado ou não à relação hipsométrica, e método de dois diâmetro para estimativa de biomassa; c) desenvolver e/ou apresentar a forma polimórfica e anamórfica para gerar curvas de índice de sítio, daqueles modelos mais tradicionalmente utilizados na literatura florestal, e testar o seu desempenho para gerar curvas de sítio anamórficas e polimórficas pelo método da diferença algébrica. O trabalho foi desenvolvido em uma das fazendas da MANNESMANN FLORESTAL LTDA, localizada no município de João Pinheiro MG. Os dados utilizados para realização do trabalho são provenientes de 128 árvores, distribuídas em várias classes de altura. o espaçamento é de 3 x 2,5m distribuídos

* Orientador: José Roberto S. Scolforo. Membros da banca: Antônio Donizette de Oliveira e José Márcio de Mello.

nas idades de 28 a 76 meses. Para a classificação de sítio, utilizou-se dados de 170 parcelas, submetidas a 4 medições, e dentro do espaçamento 3 x 2,5m, nas idades de 14 a 65 meses. As árvores foram cubadas rigorosamente pelo método de Smalian e os dados processados em um “Software” apropriado. Os ajustes foram realizados através do Statgraphics. Em todas as árvores cubadas rigorosamente, foram retirados discos de 1 em 1 metro, a partir da base até 3 cm de diâmetro com casca, tendo os disco 2,5 cm de espessura. Com estes discos, foi encontrada a densidade básica da árvore, e posteriormente a densidade básica média ponderada de cada árvore. A densidade básica ponderada de cada árvore foi utilizada para obtenção do peso seco por árvore. Foram ajustados e selecionados vários modelos anamórficos e polimórficos, a partir dos dados das 170 parcelas. Os modelos que se baseiam na variável diâmetro e altura são superiores aos que se baseiam somente no diâmetro. Para a situação avaliada, as metodologias utilizadas para estimar volumes, propiciaram erros variando entre 5% e 23% em relação ao valor paramétrico. O método dos dois diâmetros mostrou-se ser uma metodologia fácil de trabalhar, no entanto, menos eficiente que as metodologias que se baseiam nas variáveis diâmetro e altura. A biomassa total e comercial com e sem casca pode ser estimada com eficiência pela equação de dupla entrada, equação de dupla entrada associada à relação hipsométrica e pelo método dos dois diâmetros. A densidade básica média para *Eucalyptus camaldulensis* foi de 586 Kg/m³, sendo que esta aumentou no sentido base topo. Para obter a densidade básica das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*, a amostra deve ser retirada a 1,30 metro de altura a partir da base. O desenvolvimento da altura média das árvores de *Eucalyptus camaldulensis* na região onde foi desenvolvido o trabalho, segue um padrão de polimorfismo. A classificação de sítio através da diferença algébrica é extremamente eficiente, sendo que o modelo selecionado, apresentou em 84% das parcelas uma estabilidade total da classificação de sítio.

ABSTRACT

Study of volume estimative methods, biomass and productivity levels for

Eucalyptus camaldulensis.

The present work dealt with the following objectives: a) To select and to test the efficiency of the double entry volume equation, double entry volume equation associated with the hipsometrical relationship, the simple entry volume equation, stand volume equation, form factor and of the two diameter method for estimating the volume of a *Eucalyptus camaldulensis* stand and in addition, to identify the point where the bark thickness is representative of the whole tree; b) To test models of simple, double entry, associated or not to the hipsometrical relationship and the two diameters method for estimative of biomass; c) To develop and/or to present the polymorphic and anamorphic form to generate site index curves, from those most traditionally used models in forest literature and to test their performance to generate anamorphic and polymorphic site curves by the algebraic difference method. The work was developed in one of the Mannesmann Florestal eucalyptus plantation area, located in count of João Pinheiro, State of Minas Gerais, Brazil. The data used came from 128 trees, for several height classes. The spacing was 3 x 2.5m, and the ages ranged from 28 to 76 months. For site classification, it were utilized data from 170 plots, submitted to four measurement and within the 3 x 2.5m spacing, at the ages from 14 to 65 months. The trees were rigorously cubed by the Smalian method and the data processed in a

suitable software. The fitting of equations were performed through the Statgraphics package. Disks at every 1 meter were cut off from all rigorously measured trees, from the base up to 3cm in diameter with bark. The thickness of the disks was 2.5cm. Based on these disks, the basic density and the weighted average basic density of each tree were found, and were employed for obtaining the dry weight per tree. Several anamorphic and polymorphic models were fit and selected. The models based on diameter and height were superior to those based only on the diameter. The errors of volume estimation ranged from 5% and 23% in relation to the parametrical values. The two diameter method proved to be an easy working methodology, nevertheless, less efficient than the methodologies based on diameter and height. The total and commercial biomass with or without bark can be estimated efficiently by the double entry equation, double entry equation associated with the hypsometrical relationship and by the two diameter method. The average basic density for *Eucalyptus camaldulensis* was 586 kg/m³, and it increased from the base to the top. To obtain the basic density, the sample must be cut off at the DBH. The development of the average height of trees of *Eucalyptus camaldulensis* in the region where the work was developed, followed a polymorphism pattern. The algebraic difference was extremely efficient, for site classification and the selected model presented a total stability of site classification for 84% of the plots.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil tem aproximadamente 6,5 milhões de hectares de área reflorestada. Deste total 3,3 milhões são do gênero *Eucalyptus*. No Estado de Minas Gerais, estão localizados 2.000.000 ha, sendo que 54% desta área tem vínculo direto com o setor energético. Segundo ABRACAVE (1995) em 1994 foram consumidos no Estado de Minas Gerais 26,5 milhões de metros de carvão (mdc), que corresponde a 80,3% do consumo brasileiro. Deste total 14,31 milhões de metros de carvão (mdc) foram provenientes das florestas plantadas e o restante 12,19 milhões da vegetação nativa. No entanto, a proporção de carvão vegetal oriundo das florestas plantadas é crescente passando de 43,5% em 1993, para 54% em 1994 (ABRACAVE, 1995).

A importância do produto lenha e derivados para o Estado é muito significativa, representando no ano de 1994, 30,5% da matriz energética, contra 34,3% da energia hidráulica, 19,8% de petróleo e derivados, 10,7% do carvão mineral e derivados e 4,7% de outras fontes de produção de energia (CEMIG, 1996). Esta importância é visível para as indústrias cimenteiras, de cal, de mineração e pelotização, de alimentos e bebidas, têxtil, química, papel e celulose, cerâmica, e indústrias de gusa, na qual o carvão vegetal chega a representar 98,9% do consumo de energia. Outro fato significativo do setor florestal em Minas Gerais é que este representa 14% do produto interno bruto - PIB, sendo que, o

carvão vegetal juntamente com o aço, o leite, o café e a carne, constituem-se em um dos principais produtos da pauta de arrecadação do ICMS estadual.

A importância deste setor justifica o conhecimento adequado do estoque florestal, para que um planejamento de curto, médio e longo prazo possa ser realizado. A nível setorializado o conhecimento do estoque é obtido através do Inventário Florestal pré-corte. Já a médio e longo prazo é necessário conhecer a dinâmica da floresta o que é viabilizado através do Inventário Florestal contínuo. Neste contexto a estimativa do volume dos maciços florestais devidamente estratificados, assumem grande importância para que planos de manejo, análises de investimentos e tomada de decisão sejam efetivadas.

A estimativa do volume pode ser a partir de várias metodologias. A equação de volume é a mais utilizada, para quantificar o volume da árvore individual. Tem-se também o fator de forma, e a relação hipsométrica associada a uma equação de volume, que geralmente propicia estimativas confiáveis e com menor custo quando comparada com as equações que tem como variáveis independentes o diâmetro e a altura. Outra opção de menor custo, é o método dos dois diâmetros. Quando se deseja o volume por unidade de área a equação do povoamento é uma boa opção. Já para estimar os múltiplos produtos da madeira ou os sortimentos, deve-se utilizar as funções de forma, as razões de volume em conexão com as funções de forma ou as funções splines.

Desde que, por ocasião da cubagem rigorosa, seja coletada amostra para obtenção da densidade básica, pode-se obter a biomassa real de cada árvore através do produto densidade básica e volume real. Definida a obtenção do valor paramétrico da biomassa, os métodos listados anteriormente, podem ser utilizados, bastando substituir a variável dependente volume pela biomassa.

Além de quantificar o volume ou biomassa das árvores individuais, é extremamente interessante definir o potencial produtivo da propriedade florestal através de uma

classificação de sítio. Esta definição de níveis de produtividade propicia ao manejador florestal fazer prescrições de adubação, planejar adequadamente a exploração florestal, programar práticas diferenciadas de manejo florestal, avaliar a viabilidade ou não dos projetos florestais, além de possibilitar a prognose da produção florestal através da qual pode-se definir a rotação silvicultural e econômica, planejar a comercialização, definir qual o melhor manejo para conduzir o povoamento, enfim planejar o corte/colheita, para que desta maneira medidas de decisões possam serem tomadas decisões a nível gerencial.

A abordagem sobre o tema sítio florestal será por meio do desenvolvimento da forma de ajuste de modelos matemáticos, através do método da diferença algébrica.

Este trabalho teve como objetivos gerais: testar a eficiência dos métodos que possibilitem quantificar o volume de árvores individuais; testar a eficiência dos modelos que possibilitem quantificar a biomassa de árvores individuais; desenvolver formas de ajuste para classificação de sítio, por meio de modelos matemáticos tradicionais na área florestal, através de ajuste pelo método da diferença algébrica.

CAPÍTULO 1

EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS PARA ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE *Eucalyptus camaldulensis*

1.1 INTRODUÇÃO

A tendência florestal atual é a obtenção de maior produtividade volumétrica para atender o mercado que cada dia aumenta mais o consumo de madeira de reflorestamento principalmente do gênero *Eucalyptus*, segundo o Anuário Estatístico da ABRACAVE (1995), o consumo de carvão vegetal no Brasil, em 1994, foi em torno de 33 milhões de metros de carvão (mdc).

Quando se deseja obter uma estimativa mais precisa do estoque florestal, pode-se fazer uso de modelos matemáticos. Dentre estes o mais utilizado é a equação de volume de dupla entrada. Seu ajuste é geralmente obtido através do método do mínimo quadrado, conforme encontrado em Campos, Leite e Souza (1990), Silva (1991), Souza e Jesus (1991), Paula Neto (1992), Ouellet Ung (1991), Silva, Borders e Bailey (1993), Scolforo (1993a), Garcia Leite, Guimarães e Campos (1995). No caso de o povoamento florestal apresentar correlação diâmetro-altura tendendo a 1, pode-se utilizar equações volumétricas de simples entrada. O sucesso de uso destes procedimentos depende de uma amostragem representativa do maciço

florestal, em que as árvores selecionadas para cubagem rigorosa representem adequadamente a variabilidade da amplitude em diâmetro e altura do povoamento, e a amostragem do inventário florestal deve retratar de forma clara a variabilidade da população sob estudo.

Uma das opções para reduzir custo no inventário florestal é o uso de Relação Hipsométrica. Esta relação pode ser a tradicional, em que a altura é estimada a partir da variável diâmetro. Neste caso, seu ajuste deve ser a “nível das parcelas” localizadas no talhão, no intuito de controlar variabilidade, tais como, espaçamento, idade e índice de sítio (Couto e Bastos, 1987; Cardoso, 1990; Lappi, 1991; Arabatzis e Burkhardt, 1992; Scolforo, 1993b).

Outra metodologia para estimativa do volume é o método dos dois diâmetros que tem como princípio a alta correlação positiva entre o volume de uma pequena porção da árvore, e o volume total da árvore que se tem interesse. Este método desenvolvido primeiramente por Silva, Borders e Bailey (1993a) e testado por Silva e Borders (1993b) mostrou ser uma opção para redução dos custos do inventário florestal.

A equação do povoamento é uma maneira de se estimar o volume por unidade de área a um menor custo. Em trabalhos desenvolvidos por Silva (1979); Rosot (1989) e Scolforo, Mello e Almeida (1994) obtiveram estimativas confiáveis do volume quando utilizaram esta metodologia.

O uso de funções de forma, splines e razão de volume é recomendável quando se tem interesse em outras opções que não só volume total ou algum volume comercial. Este interesse complementar propicia quantificar o estoque dos múltiplos produtos da madeira.

Já o fator de forma é uma opção antiga que deve ser utilizada em situações que não se tenha nenhuma informação, ou ainda necessita de rapidez do trabalho de inventário.

O objetivo central deste estudo foi selecionar e testar a eficiência da equação de volume de dupla entrada, da equação de volume de dupla entrada associada a relação hipsométrica, da equação de volume de simples entrada, da equação do povoamento, do fator de forma e do método dos dois diâmetros para estimativa do volume de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*. Testou-se também a que altura da árvore deve-se tomar o diâmetro complementar ao DAP para tornar eficiente o método dos dois diâmetros. Verificou-se ainda, o ponto onde a espessura da casca é representativa para toda a árvore.

1.2 MATERIAL E MÉTODO

1.2.1 Caracterização da Área

O estudo foi realizado em um maciço florestal de *Eucalyptus camaldulensis*, pertencente a MANNESMANN FLORESTAL Ltda, localizado na Fazenda Patagônia no Município de João Pinheiro (MG), conforme pode-se visualizar na Figura 1. De acordo com Golfari (1975), a cidade de João Pinheiro está localizada na região bioclimática 7, no setor oeste e norte da Serra do Espinhaço, a uma altitude entre 600m a 1000m, compreendendo chapadões baixos e colinas com relevo ondulado suave a ondulado forte. O clima subtropical é úmido e subúmido. A temperatura média anual varia de 19 a 22°C. A região apresenta evapotranspiração potencial anual entre 900 a 1100mm. Os solos são predominantemente, luvisolos férricos, ferrassolos ácricos e arenossolos ferrálicos, e a vegetação original é de cerrado com diferentes tipologias.

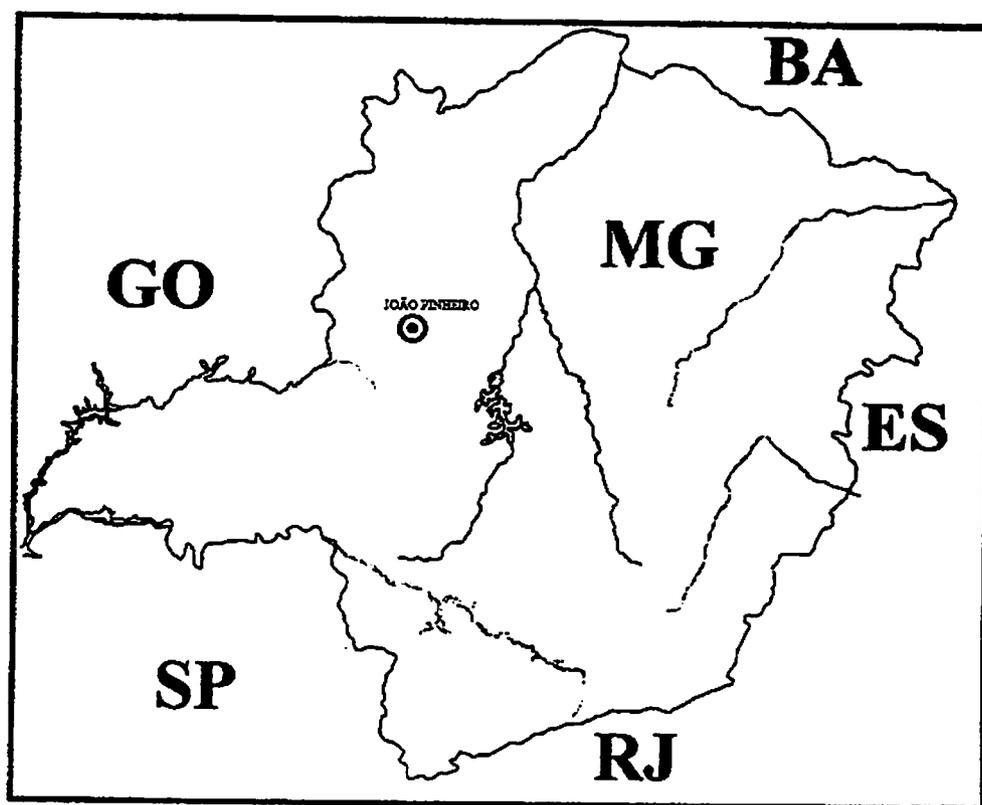


FIGURA 1: Área de realização do estudo

1.2.2 Levantamento de Dados

Foram amostradas um total de 128 árvores distribuídas em diferentes classes de diâmetro e altura. O espaçamento por ocasião do plantio foi de 3 x 2,5m, e as idades amostradas variaram de 28 a 76 meses. Foram cubadas árvores sem qualquer problema fitossanitário e sem bifurcações. A distribuição das árvores amostradas por classe de diâmetro e altura está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 - Distribuição de frequência das árvores amostradas na cubagem rigorosa por classe de DAP e classe de altura

Classe de DAP (cm)	Valor central das classes de altura total (m)							Total
	9	11	13	15	17	19	21	
5,0 — 7,5	5	8						13
7,5 — 10,0	2	20	11	2				35
10,0 — 12,5		2	2	7	16	2		29
12,5 — 15,0				2	19	14		35
15,0 — 17,5						9	4	13
17,5 — 20,0					1	1	1	3
Total	7	30	13	11	36	26	5	128

Abatidas as árvores efetuou-se a cubagem rigorosa, medindo-se o diâmetro na base a 0,30m do solo e de 0,30m em 0,30m até a altura de 3,00m. Logo após, mediu-se o diâmetro de metro em metro até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca. Quantificou -se também o diâmetro a 1,30m (DAP) e a altura total de cada árvore. O instrumento utilizado para medir o diâmetro foi a suta de 50cm de diâmetro com aproximação de 0,1 cm. Em cada ponto de medição do diâmetro, tomou-se nos dois lados da árvore a espessura da casca utilizando para tal o medidor de espessura de casca. Os dados foram processados pelo programa VOLCOM.BAS, o qual propiciou as seguintes informações: Volume total com e sem casca, DAP, altura total, volume até 3cm com e sem casca e fator de forma; volume de cada torete tendo sempre como um extremo o diâmetro em cada uma das pequenas secções de 0,30 m e no outro extremo sempre o DAP.

Os ajustes de todos os modelos utilizados, assim como a construção de eventuais modelos volumétricos foi efetivado através do “Software” Statgraphcs, versão 6.1. A variável dependente assumiu o valor do volume total com casca, do volume total sem casca, do volume até três centímetros de diâmetro com casca e do volume até três centímetros de diâmetro sem casca.

1.2.3 Equações de Volume

Para estimativa do volume individual das árvores foram utilizados os modelos tradicionalmente citados na literatura florestal conforme pode-se observar em Campos, Leite e Souza (1990), Silva, Borders e Bailey (1993), Scolforo (1993).

1.2.3.1 Modelos de Simples Entrada

Neste caso a variável dependente assumiu o valor do volume total com casca, volume total sem casca, volume com casca até um diâmetro de 3 cm com casca e volume sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca. A variável independente é o diâmetro com casca a 1,30 m conforme mostrado na Tabela 2.

TABELA 2 : Modelos matemáticos baseados em uma única variável o diâmetro com casca a 1,30 m.

AUTOR	MODELOS
Kopezky - Gehrhardt	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + e_i$
Dissescu - Meyer	$V = \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$
Hohenald - Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$
Berkhout	$V = \beta_0 D^{\beta_1} + e_i$
Husch	$\text{Log } V = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D) + \text{Log } e_i$
Brenac	$\text{Log } V = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D) + \beta_2 (1/D) + \text{Log } e_i$

Fonte: Módulo 3 FAEPE (Scolforo, 1993)

em que:

V = Volume

D = Diâmetro a 1,30m

β_{is} = Parâmetro da equação

Log = logaritmo natural

e_i = erro de estimativa

Após selecionada a equação para volume total com casca, a mesma foi ajustada para volume total sem casca, e também para as outras duas variáveis dependentes, volume com e sem casca até um diâmetro 3 cm com casca.

1.2.3.2 Modelos de Dupla Entrada

Neste caso a variável dependente assumiu o valor do volume total com casca, volume total sem casca, volume com casca e sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca. A variável independente é o diâmetro com casca a 1,30 m e a altura total conforme mostrado na Tabela 3.

TABELA 3 : Modelos matemáticos baseados nas variáveis diâmetro e altura

AUTOR	MODELOS
Spurr	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + e_i$
Scumacher - Hall	$V = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} + e_i$
Honner	$V = D^2 / [\beta_0 + \beta_1 (1/H)] + e_i$
Ogaya	$V = D^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + e_i$
Stoate (australiana)	$V = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 H^3 + e_i$
Naslund	$V = \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 D H^2 + \beta_4 H^2 + e_i$
Takata	$V = D^2 H / (\beta_0 + \beta_1 D) + e_i$
Spurr (logaritimizada)	$\text{Log } V = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D^2 H) + \text{Log } e_i$
Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D H + \beta_4 D^2 H + \beta_5 H + e_i$

Fonte: Módulo 3 FAEPE (Scolforo, 1993)

em que:

V, D, β_{is} , Log, e_i = definidos anteriormente

H = altura total da árvore

Após selecionada a equação para volume total com casca, a mesma foi ajustada para volume total sem casca, e também para as outras duas variáveis dependentes, volume com e sem casca até um diâmetro 3 cm com casca .

1.2.3.3 Métodos dos Dois Diâmetros

A questão central neste método é que o volume de qualquer porção da árvore é altamente correlacionado com o volume total ou mesmo com qualquer volume comercial. Desta maneira o interesse é saber qual porção da árvore de *Eucalyptus camaldulensis* é mais correlacionada com o volume total com e sem casca e com o volume comercial com e sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca.

Buscando responder a esta pergunta, a cubagem rigorosa foi efetuada de 0,30m em 0,30m desde a base da árvore até a altura de 3,00m, conforme descrito no item 1.2.2. Pode-se então calcular o volume de várias seções, tendo sempre como uma das extremidades o diâmetro a 1,30m (DAP). Assim, calculou-se o volume de 0,00m - 1,30m; 0,30m - 1,30m; 0,60m - 1,30m; 0,90m - 1,30m; 1,20m - 1,30m; 1,30m - 1,50m; 1,30m - 1,80m; 1,30m - 2,10m; 1,30m - 2,40m; 1,30m - 2,70; 1,30m - 3,00m. O volume de cada torete (V_i), foi correlacionado ao volume total da árvore. Visando detectar qual volume (V_i), apresentou maior correlação com o volume total da árvore com e sem casca, e com o volume comercial com e sem casca até um diâmetro de 3cm com casca, utilizando-se para tal modelos lineares.

O desenvolvimento do método de dois diâmetros, assim como, sua operacionalização é apresentado a seguir:

A equação da reta estabelece a relação entre o volume do torete e o volume da árvore:

$$V = \beta_0 + \beta_1 (V_i) \quad (1)$$

em que,

V = volume total da árvore

β_i = parâmetros a serem estimados

V_i = volume entre o DAP e o diâmetro na i ésima altura (h_i)

Como o volume de qualquer pequena seção pode ser obtido através da fórmula de Smalian tem-se:

$$V_i = \frac{[(\pi \text{DAP}^2/40000) + (\pi \text{Di}^2/40000)] * \ell}{2} \quad (2)$$

Então substituindo (2) em (1), a equação ajustada pode assumir a forma:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \frac{[(\pi \text{DAP}^2/40000) + (\pi \text{Di}^2/40000)] * \ell}{2}$$

$$V = \beta_0 + \beta_1 (\pi/80000) \ell * (\text{DAP}^2 + \text{Di}^2)$$

Sendo $K = (\pi/80000) * \ell$, então

$$V = \beta_0 + \beta_1 * K * (\text{DAP}^2 + \text{Di}^2) \quad (3)$$

em que

DAP = diâmetro a 1,30m de altura

Di = diâmetro a i ésima altura

ℓ = comprimento da seção em relação ao DAP

β_i = parâmetro da equação

π = constante 3,1417

A expressão (3) é a forma final de trabalho. Identificado qual o volume do torete que mais se correlacionou ao volume total ou comercial da árvore pode-se identificar o par de diâmetro correspondente. Para propiciar maior praticidade ao método utilizou-se de modelos

lineares para estimar o diâmetro a qualquer altura em função do DAP, conforme apresentado na Tabela 4. Tal fato será ilustrado a partir da equação da linha reta.

$$D_i = \beta_2 + \beta_3 * DAP \quad (4)$$

Substituindo então (4) em (3) tem-se:

$$V = \beta_0 + \beta_1 * K * [DAP^2 + (\beta_2 + \beta_3 * DAP)^2]$$

TABELA 4: Modelos matemáticos baseados no diâmetro nas alturas de 0.30m; 0.60m; 0.90m; 1.20m; 1.50m; 1.80m; 2.10m; 2.40m; 2.70m; 3.00m em relação ao DAP.

NOME DO MODELO	Modelos
RETA	$D_i = \beta_0 + \beta_1 DAP + e_i$
HIPÉRBOLE	$D_i = \beta_0 + \beta_1 (1/DAP) + e_i$
RETA (logaritimizada)	$\text{Log}D_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}DAP + \text{Log} e_i$

em que:

D_i : é o iésimo diâmetro da outra extremidade da tora

DAP: diâmetro a altura do peito (1,30 m)

Log: logaritmo natural

e_i : erro de estimativa

1.2.3.4 Fator de Forma

Para as 128 árvores amostras foram calculados o fator de forma com e sem casca para a árvore total e fator de forma com e sem casca para altura da árvore até diâmetro com casca igual a 3 cm. Foi obtido também o fator de forma médio por idade. Através destes fatores de forma médios por idade foi possível estimar o volume total com e sem casca, e volume com e sem casca até diâmetro de 3 cm com casca de cada árvore.

1.2.3.5 Equação do Povoamento

Neste caso utilizou-se as medidas de diâmetro e altura coletadas em 182 parcelas na mesma região de estudo. Com estas variáveis obteve-se o volume cilíndrico de cada árvore. A somatória destes volumes propiciaram o volume cilíndrico por parcela que foi extrapolado para o hectare. Pode-se então, estabelecer relação entre esta variável e a área basal, ou a área basal e a altura média aritmética, ou ainda a área basal e a altura média das árvores dominantes e mesmo combinações entre estas, principalmente na forma de produto cruzado. Os modelos testados são mostrados na Tabela 5. A obtenção do volume sólido foi através do produto, volume cilíndrico e fator de forma médio, por idade, obtido das 128 árvores da cubagem rigorosa.

TABELA 5: Modelos matemáticos e logarítmicos que expressam o desenvolvimento do volume por unidade de área.

Característica de interesse	Modelos
Volume cilíndrico (m ³)	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G^2 + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 GH + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 GHd + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G^2\bar{H} + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G^2Hd + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 G^2 + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 \bar{H} + \beta_3 G\bar{H} + e_i$
	$V_{cil} = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 Hd + \beta_3 GHd + e_i$
	$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G) + \text{Log } e_i$
	$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G^2) + \text{Log } e_i$
	$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G\bar{H}) + \text{Log } e_i$
	$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(GHd) + \text{Log } e_i$
	$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G^2\bar{H}) + \text{Log } e_i$
$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G^2Hd) + \text{Log } e_i$	
$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G) + \beta_2 \text{Log}(G^2) + \text{Log } e_i$	
$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G) + \beta_2 \text{Log}(H) + \beta_3 \text{Log}(GH) + \text{Log } e_i$	
$\text{Log } V_{cil} = \text{Log}(\beta_0) + \beta_1 \text{Log}(G) + \beta_2 \text{Log}(Hd) + \beta_3 \text{Log}(GHd) + \text{Log } e_i$	

Fonte: Módulo FAEPE (Scolforo, 1993)

em que:

Vcil = volume cilíndrico da parcela ou por hectare

G = área basal da parcela ou por hectare

\bar{H} = média aritmética das alturas

Hd = altura média das árvores dominantes

Bis = parâmetros a serem estimados

Log = logaritmo natural

e_i = erro de estimativa

1.2.3.6. Associação da Relação Hipsométrica à Equação de Volume de Dupla Entrada

Para as quatro situações de estimativa volumétrica, considerou-se duas opções de uso das relações hipsométricas, conforme detalhe encontrado em Scolforo, Melo e Franco (1996).

a) Relação hipsométrica típica associada a equação de volume de dupla entrada.

Os modelos hipsométricos testados são apresentados na Tabela 6 e serão ajustados para cada um dos cinco talhões que contém as 15 parcelas que compõem o teste de aplicabilidade a ser desenvolvido neste trabalho.

TABELA 6: Modelos hipsométricos típicos.

Autores	Modelos
Parabólico	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$
Stofel	$\text{Log}H = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}D + \text{Log} e_i$
Petterson	$H = 1 / (\beta_0 + \beta_1 / D)^{1/3} + e_i$
Prodan	$H = [(D^2) / (\beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2)] + 1,3 + e_i$

em que:

H = altura da *i*ésima árvore da parcela

D = diâmetro da *i*ésima árvore da parcela

β_{is} = parâmetros a serem estimados

e_i = erro de estimativa.

Cada relação hipsométrica propiciará a estimativa da altura de cada árvore na parcela. Cuidado deve ser tomado para utilizar a equação correspondente as parcelas que estão locadas em mesmo talhão. A altura estimada pela equação será utilizada nos modelos de dupla entrada selecionados para estimar o volume total com casca; o volume total sem casca; o volume comercial com casca até 3 cm de diâmetro com casca; e o volume comercial sem casca até 3 cm de diâmetro com casca.

b) Equação hipsométrica genérica associada a equação de volume de dupla entrada

Neste caso foi utilizado o modelo construído por Scolforo, Mello e Franco (1996), para a mesma região e espécie onde foi desenvolvido este estudo. A altura da árvore é função de seu diâmetro a 1,30 m (D); da densidade do povoamento expressa pelo diâmetro médio quadrático (DG); da produtividade do sítio expressa pela altura média das árvores dominante (Hd) e da idade em meses (I).

$$\text{LnH} = -0,83159 + 0,17281\text{Hd} + 0,14796(\text{DG}/\text{D}) + 0,22048\text{I} + 0,63253\text{D}$$

$$\text{R}^2 = 0,89$$

$$\text{Syx} = 0,29741 \text{ Log}(m)$$

em que:

Log = logaritmo natural

A altura estimada será utilizada nos modelos de dupla entrada selecionados para estimar o volume total com casca; o volume total sem casca; o volume comercial com casca até 3 cm de diâmetro com casca; e volume comercial sem casca até 3 cm de diâmetro com casca.

1.2.4 Critérios para Seleção dos Modelos

Para selecionar as equações que tiveram melhor desempenho na estimativa, foram avaliadas as seguintes medidas de precisão:

- a) Coeficiente de determinação corrigido (R^2)
- b) Erro padrão residual em percentagem ($Syx\%$) na escala original da variável dependente
- c) Distribuição gráfica dos resíduos.

O critério usado para seleção do modelo foi, selecionar o modelo que melhor estimou a variável de interesse entre os aritméticos, e o mesmo procedimento foi feito para os logarítmicos. Após ter sido escolhido o modelo logarítmico, para compará-lo com o aritmético, fez-se a transformação dos resíduos para obter uma nova soma dos quadrados para este modelo, o que permitiu a obtenção de novo erro padrão residual na escala original da variável dependente. Então, desta maneira, pode-se comparar os dois modelos.

1.2.5 Aplicabilidade do Modelo

Para o teste de aplicabilidade, foram utilizadas quinze (15) parcelas de 100 m² (10 x 10 m) cada, distribuídas aleatoriamente em 5 talhões na área de estudo, nas quais procedeu-se a medida do DAP e altura de todas as árvores. Foi utilizada para obtenção destas medidas, respectivamente, suta graduada em milímetro (mm) e Blume Leiss. Posteriormente, efetuou-se a cubagem rigorosa de todas as árvores de cada parcela, utilizando-se o método de Smalian.

Obteve-se o volume real total, com casca e sem casca, exclusive do toco, e também o volume real com casca e sem casca até um diâmetro 3 cm com casca, exclusive do toco.

Pode-se então verificar a eficiência da estimativa dos volume através dos métodos: da equação de volume de simples entrada, da equação de volume dupla entrada, dos dois diâmetros, da equação do povoamento, do fator de forma, da relação hipsométrica associada a equação de volume e da relação hipsométrica genérica associada a equação de volume.

O delineamento experimental utilizado foi o de bloco ao acaso (DBC), em que as 15 parcelas constituíram-se os blocos e os tratamentos foram:

- T1 = Testemunha (volume real médio da parcela)
- T2 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação de volume de simples entrada
- T3 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação de volume de dupla entrada
- T4 = Média aritmética dos volumes estimados pelo método dos dois diâmetros
- T5 = Média aritmética dos volumes estimados pela equação do povoamento
- T6 = Média aritmética dos volumes estimados pelo fator de forma
- T7 = Média aritmética dos volumes estimados através da associação da relação hipsométrica típica e a equação de volume de dupla entrada
- T8 = Média aritmética dos volumes estimados através da associação da relação hipsométrica genérica e a equação de volume de dupla entrada

O experimento foi executado para as quatro (4) variáveis dependentes consideradas no trabalho:

Experimento 1 - Volume total com casca;

Experimento 2 - Volume total sem casca;

Experimento 3 - Volume com casca até um diâmetro mínimo com casca de 3 cm;

Experimento 4 - Volume sem casca até um diâmetro mínimo com casca de 3 cm.

Os dados dos 4 experimentos serão submetidos ao teste de Normalidade de Bartlett, afim de verificar se os dados tem distribuição normal ou não.

Se for detectada diferença significativa entre os tratamentos será executado o teste de média Scott-Knott, conforme Pimentel Gomes (1984), considerando nível de significância $\alpha = 0,05$.

1.2.6 Identificação do Ponto Médio na Árvore para tomar Espessura de Casca

Foi obtida a espessura de casca das 128 árvores da cubagem rigorosa, medindo-as de 0,30m em 0,30m até a altura de 3,00m, e depois de metro em metro até o diâmetro mínimo de 3cm com casca. Utilizou-se para tal, medidor de espessura de casca com precisão de 1mm. A espessura da casca coletada na iésima altura que apresentou-se mais correlacionada com a espessura de casca média da árvore foi a escolhida para representar o ponto de amostragem da espessura de casca para *Eucalyptus camaldulensis*. Foram utilizados modelos lineares, conforme apresentado na Tabela 7, para viabilizar a estimativa da espessura da casca média da árvore em relação a iésima altura onde esta foi obtida. O ajuste foi realizado a nível de árvore considerando medidas até 9 m de altura, em virtude da cubagem rigorosa ter sido realizada de forma absoluta. Assim, algumas árvores já a esta altura apresentaram diâmetro com casca igual a 3 cm.

TABELA 7: Modelos para expressar o ponto de amostragem da espessura de casca para *Eucalyptus camaldulensis*

Característica de interesse	Modelos
Espessura de casca (cm)	$EC = \beta_0 + \beta_1 (Ec_i) + e_i$ $EC = \beta_0 + \beta_1 1/Ec_i + e_i$ $\text{Log } EC = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(Ec_i) + \text{Log } e_i$

em que:

EC = espessura média de casca da árvore

EC_i = espessura de casca na iésima altura

Log = logarítimo natural

ei = erro de estimativa

1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Métodos de estimativa de volume

1.3.1.1 Estimativa do volume através da equação de simples entrada

Na Tabela 8, são apresentadas as equações selecionadas, assim como suas medidas de precisão para estimar o volume total com e sem casca, e o volume com casca e sem casca até 3 cm de diâmetro com casca, tendo como variável independente o DAP (diâmetro a 1,30 m de altura). Na Figura 2 são apresentadas as distribuições gráficas dos resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 8: Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações de volume de simples entrada

Característica de interesse	Equações selecionadas	R ²	Syx	Syx%
Volume em (m ³)	LogVtc/c = - 8,92650 + 2,57819LogD	0,979	0,00903	11,23
	LogVts/c = - 9,26411 + 2,63484LogD	0,971	0,00651	9,76
	LogV3c/c = - 9,11804 + 2,64558LogD	0,977	0,00923	11,68
	LogV3s/c = - 9,51259 + 2,72412LogD	0,973	0,00639	9,79

Log = logarítimo neperiano

Vtc/c = volume total com casca

Vts/c = volume total sem casca

V3c/c = volume com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

V3s/c = volume sem casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros sem casca

D = diâmetro tomado a 1,30 m

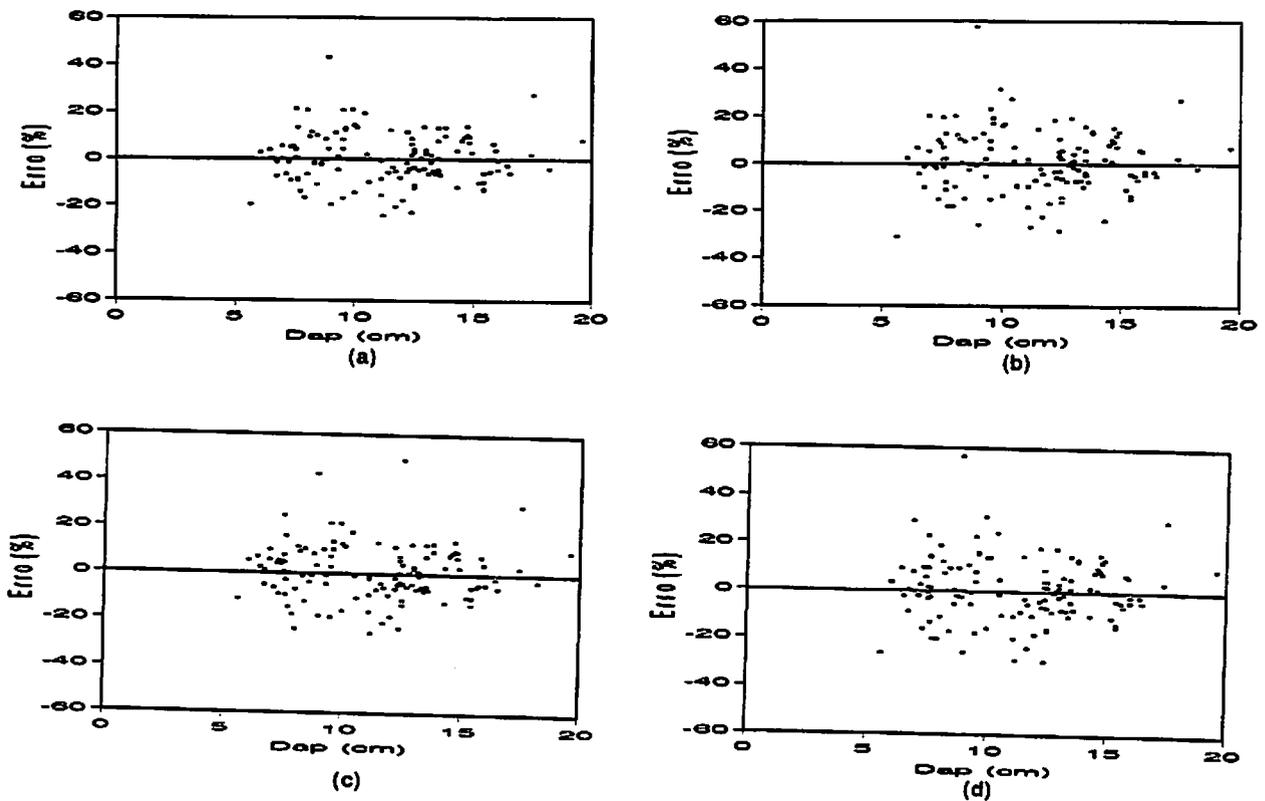


FIGURA 2: Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

As equações selecionadas para estimar o volume total com casca e sem casca, o volume com casca e sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca, apresentaram valores de coeficiente de determinação superiores a 97% e erro padrão residual entre 9,7% e 11,7%. Estes valores são aceitáveis e portanto, as equações são possíveis de serem utilizadas, já que na Figura 2, podem ser observadas as distribuições gráfica dos resíduos de forma bastante satisfatória, para as estimativas dos volume para qualquer classe de tamanho do espectro amostral do presente trabalho. Resultados semelhantes foram encontrados por Alfaro, Paula Neto, Rezende e Bandeira (1986) testando modelos aritméticos e logarítmicos em estudos com

eucaliptais incentivados em Minas Gerais, e também Schneider e Grillo Elesbão (1982) testando quatorze (14) equações para estimar volume com e sem casca para *Pinus elliottii* Engel.

1.3.1.2 Estimativa do volume através da equação de dupla entrada

Na Tabela 9, são apresentadas as equações selecionadas, assim como suas medidas de precisão para estimar o volume total com e sem casca, e o volume com casca e sem casca até o diâmetro de 3 cm com casca, tendo como variáveis independente DAP (diâmetro a 1,30 m de altura) e a altura da árvore. Na Figura 3, são apresentadas as distribuições gráficas de resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 9: Parâmetros estimados e as medidas de precisão das equações de volume de dupla entrada

Característica de interesse	Equações selecionadas	R ²	Syx	Syx%
Volume em (m ³)	LogVtc/c = -9,91649 + 0,94884LogD ² H	0,994	0,00625	7,77
	LogVts/c = - 10,29256 + 0,97188LogD ² H	0,989	0,00644	9,66
	LogV3c/c = - 10,13102 + 0,97323LogD ² H	0,990	0,00905	11,46
	LogV3s/c = - 10,56784 + 1,00393LogD ² H	0,989	0,00632	9,68

H = altura total da árvore

Log, Vtc/c, Vts/c, V3c/c, V3s/c, D = já foram definidos anteriormente

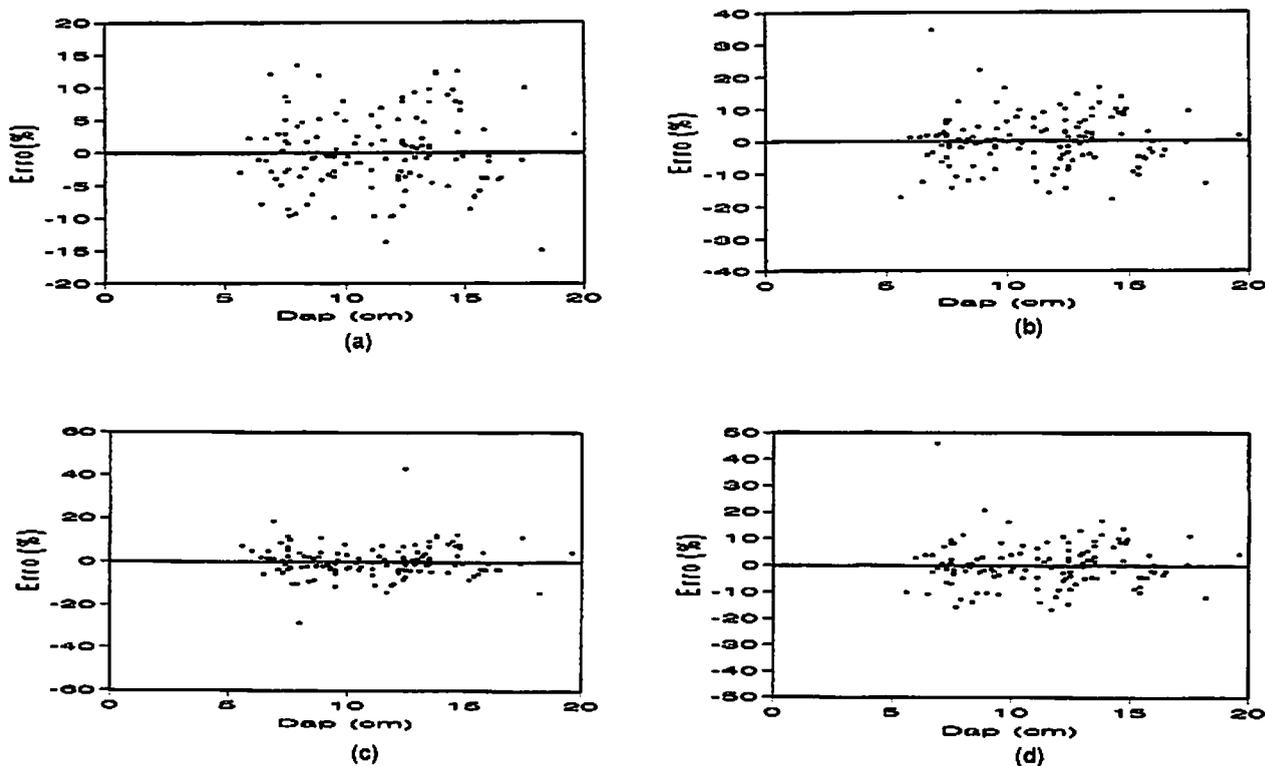


FIGURA 3: Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

Como pode ser visto na Tabela 9 o modelo da variável combinada de Schumacher e Hall logaritimizado, apresentou valores superiores a 99% de coeficiente de determinação e erro padrão residual entre 7,77% e 11,5%. Estes valores são acentuadamente diferentes daqueles obtidos para equações de simples entrada, a exceção do volume comercial sem casca até 3 cm de diâmetro com casca. Este fato será explorado com detalhes no item análise de variância. Na Figura 3, pode-se observar para as quatro situações de estudo, a distribuição gráfica dos resíduos para estimativa dos volumes para qualquer classe de tamanho. Campos, Trevizol

Júnior e Paula Neto (1985) e Campos, Leite e Oliveira (1993) selecionando equações de volume também observaram que este modelo foi o mais apropriado, quando comparado a outros modelos de dupla entrada.

1.3.1.3 Estimativa do volume através do método dois diâmetros

A partir do estudo da correlação (R), do erro da estimativa em m^3 (Sy_x) e do erro da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$) entre o volume dos toretes e o volume da árvore, pode-se detectar o volume de torete mais correlacionado com o volume da árvore com casca. Observou-se que o torete mais correlacionado foi delimitado pelo DAP e o diâmetro tomado a 3,0 m de altura, conforme pode ser visualizado na Tabela 10.

A correlação entre o volume do torete e o volume da árvore será maior quanto maior o tamanho do torete. Se o tamanho do torete é igual a altura da árvore a correlação será 1. No entanto, para fins de maior praticidade do método dos dois diâmetros não é interessante medir dois diâmetros, o que se faz é correlacionar o diâmetro a determinada altura com o DAP (D) e estimá-lo. Assim, quanto mais distante do DAP, menor será a correlação entre eles, o que influirá negativamente em sua estimativa. Por este motivo, tentou-se conciliar as duas situações, alta correlação entre volume do torete e volume da árvore e diâmetro a determinada altura e DAP.

TABELA 10 : Correlação entre volumes das seções e volume da árvore.

Extremo das seções	R	Syx (m ³)	Syx (%)
0,3 - 1,3	0,982	0,00991	12,32
0,6 - 1,3	0,984	0,00931	11,58
0,9 - 1,3	0,986	0,00893	11,11
1,2 - 1,3	0,984	0,00928	11,54
1,3 - 1,5	0,987	0,00854	10,62
1,3 - 1,8	0,988	0,00829	10,29
1,3 - 2,1	0,988	0,00808	10,05
1,3 - 2,4	0,989	0,00755	9,38
1,3 - 2,7	0,989	0,00750	9,33
1,3 - 3,0	0,991	0,00696	8,65

Definido este limite pode-se então estruturar a função dos dois diâmetros como segue:

$$V = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}[K (DAP^2 + D_{3m}^2)] + \beta_2 / \text{Log}[K (DAP^2 + D_{3m}^2)]$$

O ajuste desta função considerando como variável dependente o volume total com casca; o volume total sem casca; o volume com e sem casca até 3 cm de diâmetro com casca, assim como as suas medidas de precisão são mostradas na Tabela 11.

TABELA 11: Parâmetros estimados e as medidas de precisão das equações entre os diâmetros 1,30m e 3,00m.

Característica de interesse	Equações selecionada	R ²	Syx	Syx%
Volume em (m ³)	$\text{LogVtc/c} = 2,76989 + 1,267051 \text{ Log}[k(\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)] + 0,40604/\text{Log}[k \cdot (\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)]$	0,986	0,00719	8,94
	$\text{LogVts/c} = 2,50642 + 1,22787 \text{ Log} [k (\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)] + 0,26375/\text{Log} [k (\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)]$	0,985	0,00688	10,33
	$\text{LogV3c/c} = 3,60608 + 1,38331 \text{ Log} [k (\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)] + 1,95515/\text{Log} [k(\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)]$	0,983	0,00756	9,57
	$\text{LogV3s/c} = 3,56243 + 1,42155 \text{ Log} [k(\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)] + 1,94524/\text{Log} [k(\text{DAP}^2 + \text{D}_{3\text{m}}^2)]$	0,980	0,00691	10,58

em que:

$$D_{3\text{m}} = -0,81459 + 0,92588\text{DAP}$$

$$K = (3.1416/80.000)*1,7$$

Log, Vtc/c, Vts/c, V3c/c, V3s/c, DAP = já foram definidos anteriormente

A estimativa do diâmetro a 3 metros em função do DAP foi efetuada através da equação: $D_{3\text{m}} = -0,8146 + 0,9259 \cdot \text{DAP}$, a qual apresentou coeficiente de determinação (R²) igual a 98,42%, erro padrão da estimativa em percentagem (Syx%) igual a 3,75%.

A distribuição gráfica do resíduo para as equações dos dois diâmetros, pode ser observada conforme pode-se observar na Figura 4.

Observou-se para as equações que estimam o volume total com casca e o volume com casca até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca no ajuste em relação as equações de simples entrada (Tabela 8). Fato inverso foi observado para as equações que estimam o volume total sem casca e volume sem casca até diâmetro mínimo de 3 cm com casca.

modelos, ao estimar volume com e sem casca para *Pinus elliottii* no litoral de Santa Catarina. Também Silva e Borders (1993), utilizaram desta metodologia para estimativa de volume de *Pinus loblolly* em floresta nos E.U.A.

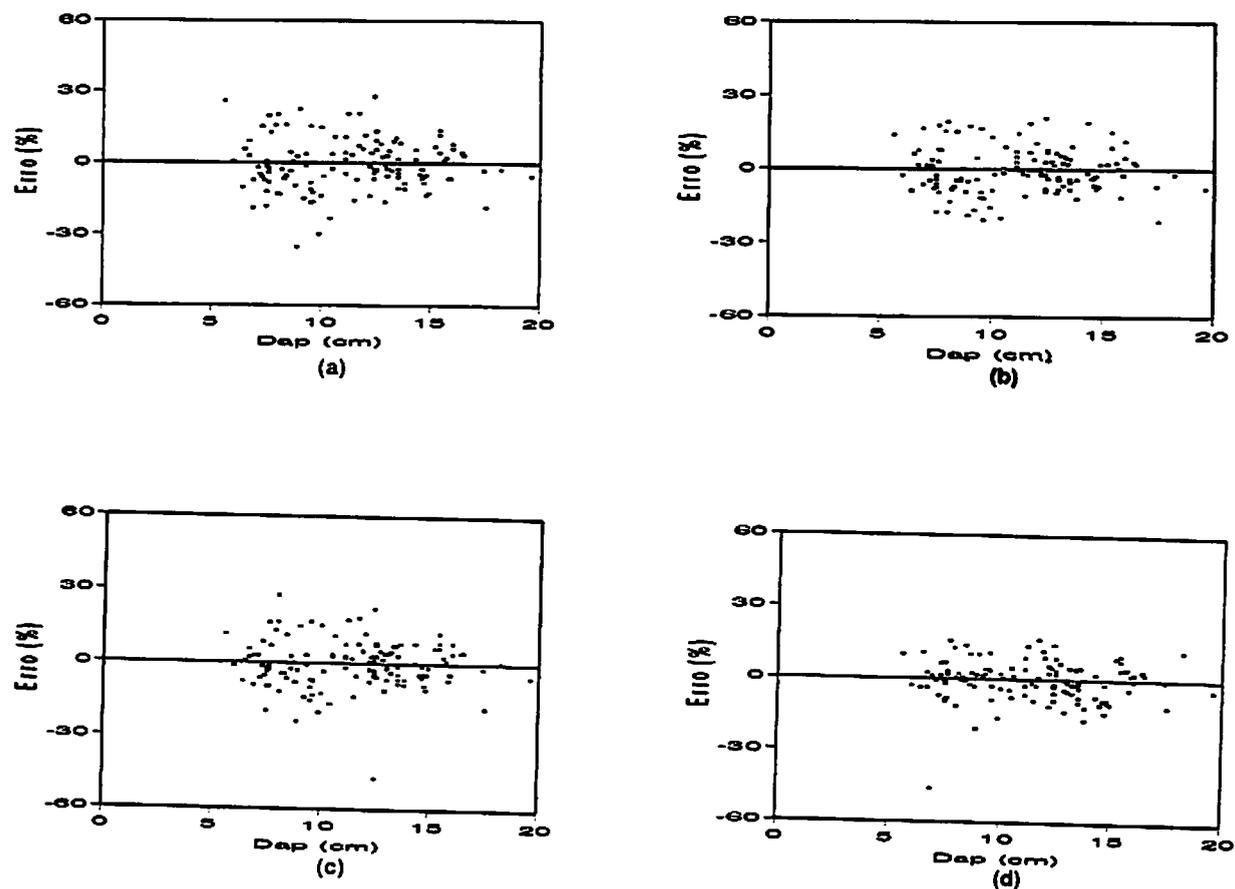


FIGURA 4: Distribuição gráfica dos resíduos, para a equação de volume total com casca (a), volume total sem casca (b), volume com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e volume sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

1.3.1.4 Estimativa do volume através da equação do povoamento

A equação do povoamento é uma interessante opção para estimar o volume por unidade de área em povoamentos florestais. Experiência neste sentido no Brasil pode ser encontrada em Scolforo et al (1994) estudando alternativas para estimar volume em florestas nativas, Rosot (1989) estudando a eficiência deste método, para *Pinus taeda*, e Silva (1979) estudando alternativas para estimar volume em *Eucalyptus* sp.

A equação selecionada para estimar o volume cilíndrico para *Eucalyptus camaldulensis* é apresentada a seguir com suas respectivas medidas de precisão:

$$\text{Log } V_{\text{cil}} = 0,03761 + 1,00373 \text{Log}(\overline{GH})$$

$$R^2 = 99,99\%$$

$$\text{Syx}\% = 3,09\%$$

Na Figura 5 está ilustrada a distribuição gráfica de resíduo para a equação do povoamento.

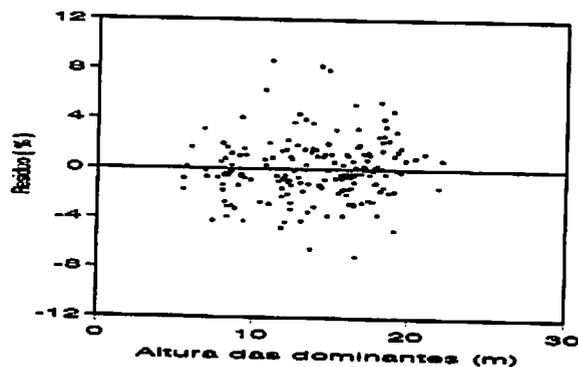


FIGURA 5: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação do povoamento

1.3.1.5 Estimativa do volume através do fator de forma

Na Tabela 12, encontram-se os valores médios dos fatores de forma para estimativa do volume total com e sem casca, e volume com e sem casca até diâmetro de 3 cm com casca. Valores semelhantes de fator de forma foram encontrados por Campos, Leite e Oliveira (1993), em estudo com clones de eucalipto em duas regiões no Espírito Santo.

TABELA 12- Valores médios dos fatores de forma para estimativa de volume.

Ffc/c	Ffs/c	Ff3c/c	Ff3s/c
0,4285	0,3499	0,4152	0,3387

Ffc/c = fator de forma para volume total com casca

Ffs/c = fator de forma para volume total sem casca

Ff3c/c = fator de forma para volume com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

Ff3s/c = fator de forma para volume sem casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros sem casca

1.3.1.6 Relação hipsométrica associada à equação de volume de dupla entrada

a) Relação hipsométrica típica

Para a associação da relação hipsométrica típica com as quatro categorias volumétricas consideradas neste trabalho, selecionou-se as equações apresentadas na Tabela 13, a nível de talhão.

TABELA 13: Equações hipsométricas e suas medidas de precisão.

Talhão	Parcelas	Equações selecionadas	R ²	Syx	Syx%
1	1, 2, 3	$H = ((D^2) / (1,90341 + 0,04353 D + 0,04464D^2)) + 1,3$	0,82	1,10720	9,00
2	1, 2, 3	$H = ((D^2) / (0,51504 + 0,02834 D + 0,03768D^2)) + 1,3$	0,92	0,84781	8,70
3	1, 2, 3	$H = ((D^2) / (3,65091 - 0,25591 D + 0,05193D^2)) + 1,3$	0,85	1,12861	9,38
4	1, 2, 3	$H = ((D^2) / (0,17818 + 0,35234D + 0,028442D^2)) + 1,3$	0,81	1,49178	10,45
5	1, 2, 3	$H = ((D^2) / (0,63294 + 0,31582D + 0,02545D^2)) + 1,3$	0,87	1,41283	9,59

Os ajustes foram bastante satisfatórios, apresentando medidas de precisão conforme aquelas encontradas em Cardoso (1991).

b) Relação hipsométrica genérica

Neste caso utilizou-se a equação desenvolvida por Scolforo, Mello e Franco (1996), já descrita na seção 1.2.3.6.

1.3.2 Teste de Aplicabilidade

Nas Tabelas 14, 15, 16 e 17 são apresentados os valores médios dos volumes reais com e sem casca, e os volumes reais com e sem casca até diâmetro de 3 cm com casca, para cada uma das 15 parcelas cujas árvores foram cubadas rigorosamente e também, os volumes médios estimados a partir dos sete métodos para estimativa dos volumes, apresentadas anteriormente. Em todas as situações foi efetuado o teste de normalidade de Bartlett, conforme apresentado por Pimentel Gomes (1984), e para as quatro situações estudadas constatou-se a normalidade dos dados ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

TABELA 14: Volume real médio com casca, e volumes médios estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento I).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05406	0,04642	0,05234	0,04641	0,04580	0,05298	0,05420	0,05693
2	0,07215	0,06349	0,07037	0,06353	0,06456	0,07213	0,07063	0,07342
3	0,04524	0,04037	0,04517	0,04030	0,03930	0,04548	0,04531	0,04692
4	0,05241	0,04526	0,04917	0,04537	0,04547	0,04916	0,04881	0,04507
5	0,05326	0,05059	0,05195	0,05070	0,04869	0,05217	0,05298	0,04978
6	0,06907	0,06329	0,06726	0,06352	0,06786	0,06802	0,06625	0,06339
7	0,02972	0,02532	0,02676	0,02520	0,02372	0,02602	0,02669	0,02620
8	0,03792	0,03381	0,03488	0,03378	0,03162	0,03436	0,03505	0,03501
9	0,02074	0,01826	0,01886	0,01805	0,01670	0,01796	0,01963	0,01881
10	0,07149	0,06115	0,06749	0,06134	0,06608	0,06843	0,06884	0,06661
11	0,09601	0,08160	0,09050	0,08167	0,08964	0,08179	0,08875	0,09012
12	0,07840	0,06650	0,07411	0,06664	0,07556	0,07542	0,07396	0,07287
13	0,05934	0,05228	0,05577	0,05229	0,04969	0,05661	0,05630	0,05843
14	0,06661	0,05396	0,05965	0,05397	0,05621	0,06051	0,05826	0,06111
15	0,08456	0,07144	0,07626	0,07154	0,07744	0,07785	0,07638	0,07969

T1 = Testemunha (volume real médio da parcela)

T2 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação de volume de simples entrada

T3 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação de volume de dupla entrada

T4 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pelo método dos dois diâmetros

T5 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pela equação do povoamento

T6 = Média aritmética dos volumes com casca estimados pelo fator de forma

T7 = Média aritmética dos volumes com casca estimados através da associação da relação hipsométrica típica e a equação de volume de dupla entrada

T8 = Média aritmética dos volumes com casca estimados através da associação da relação hipsométrica genérica e a equação de volume de dupla entrada

TABELA 15: Volume real médio sem casca, e os estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento II).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05099	0,03947	0,04464	0,04535	0,03889	0,04499	0,04443	0,04643
2	0,06543	0,05220	0,05804	0,05928	0,05272	0,05890	0,05826	0,06058
3	0,04117	0,03296	0,03695	0,03793	0,03209	0,03713	0,03709	0,04851
4	0,04774	0,03680	0,04010	0,04280	0,03712	0,04014	0,03919	0,03666
5	0,04806	0,04134	0,04245	0,04764	0,03975	0,04260	0,04333	0,04064
6	0,06234	0,05181	0,05514	0,05955	0,05541	0,05550	0,05430	0,05189
7	0,02656	0,02040	0,02155	0,02407	0,01937	0,02124	0,02149	0,02108
8	0,03430	0,02741	0,02825	0,03204	0,02582	0,02805	0,02840	0,02836
9	0,01816	0,01459	0,01504	0,01741	0,01360	0,01466	0,01568	0,01499
10	0,06570	0,05006	0,05539	0,05750	0,05396	0,05588	0,05653	0,05463
11	0,08799	0,06730	0,07488	0,07595	0,07320	0,06679	0,07339	0,07453
12	0,07120	0,05454	0,06093	0,06235	0,06170	0,06159	0,06082	0,05989
13	0,05348	0,04285	0,04579	0,04897	0,04057	0,04622	0,04623	0,04800
14	0,06012	0,04420	0,04897	0,05059	0,04590	0,04941	0,04779	0,05018
15	0,07570	0,05870	0,06278	0,06679	0,06324	0,06357	0,06289	0,06568

em que:

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 = já definidos anteriormente. Considerar média aritmética dos volumes sem casca

TABELA 16: Volume real médio com casca, até 3 cm de diâmetro com casca e os estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento III).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05523	0,04688	0,05302	0,04694	0,04615	0,05338	0,05277	0,05504
2	0,07117	0,06208	0,06895	0,06216	0,06255	0,06988	0,06921	0,07197
3	0,04406	0,03913	0,04388	0,03907	0,03808	0,04406	0,04404	0,04559
4	0,05147	0,04373	0,04760	0,04406	0,04406	0,04763	0,04653	0,04405
5	0,05230	0,04909	0,05041	0,04938	0,04717	0,05055	0,05145	0,03734
6	0,06810	0,06154	0,06549	0,06209	0,06575	0,06590	0,06448	0,06162
7	0,02873	0,02416	0,02557	0,02403	0,02298	0,02521	0,02549	0,02500
8	0,03688	0,03250	0,03353	0,03253	0,03064	0,03329	0,03370	0,03365
9	0,01958	0,01725	0,01784	0,01696	0,01617	0,01740	0,01859	0,01778
10	0,07057	0,05947	0,06579	0,05993	0,06403	0,06630	0,06714	0,06482
11	0,09511	0,08006	0,08898	0,08012	0,08685	0,07925	0,08721	0,08856
12	0,07738	0,06482	0,07237	0,06512	0,07321	0,07308	0,07225	0,07113
13	0,05845	0,05092	0,05439	0,05102	0,04814	0,05485	0,05490	0,05700
14	0,06565	0,05251	0,05816	0,05257	0,05446	0,05863	0,05676	0,05960
15	0,08373	0,06981	0,07458	0,06998	0,07504	0,07543	0,07471	0,07803

em que:

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 = já definidos anteriormente. Considerar a média aritmética dos volumes com casca até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca

TABELA17: Volume real médio sem casca, até 3 cm de diâmetro com casca e os estimados pelos sete métodos sob estudo (experimento IV).

Parcela	Tratamentos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,05011	0,03956	0,04343	0,03829	0,03766	0,04356	0,04319	0,04507
2	0,06457	0,05372	0,05690	0,05112	0,05103	0,05702	0,05712	0,05942
3	0,04013	0,03552	0,03583	0,03182	0,03107	0,03595	0,03598	0,03724
4	0,04660	0,03842	0,03871	0,03572	0,03594	0,03887	0,03779	0,03525
5	0,04720	0,04321	0,04109	0,04024	0,03849	0,04124	0,04198	0,03926
6	0,06151	0,05194	0,05360	0,05073	0,05365	0,05377	0,05276	0,05033
7	0,02568	0,02315	0,02040	0,01920	0,01875	0,02057	0,02038	0,01996
8	0,03345	0,03118	0,02701	0,02622	0,02499	0,02716	0,02716	0,02711
9	0,01715	0,01829	0,01408	0,01340	0,01319	0,01419	0,01470	0,01403
10	0,06489	0,05077	0,05394	0,04898	0,05224	0,05409	0,03405	0,05314
11	0,08717	0,06697	0,07373	0,06615	0,07086	0,07385	0,04813	0,07334
12	0,07031	0,05376	0,05947	0,05335	0,05973	0,05962	0,05938	0,05842
13	0,05269	0,04437	0,04462	0,04178	0,03928	0,04475	0,04504	0,04680
14	0,05930	0,04593	0,04770	0,04299	0,04443	0,04784	0,04651	0,04889
15	0,07495	0,05785	0,06139	0,05750	0,06120	0,06154	0,06150	0,06431

em que:

T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8 = já definidos anteriormente. Considerar a média aritmética dos volumes sem casca até um diâmetro mínimo de 3 cm com casca

1.3.3 Eficiência dos métodos sob estudo

A partir dos valores apresentados na Tabela 14 pode-se comparar através de um delineamento de bolco ao acaso (DBC) o volume paramétrico médio obtido por parcelas (bloco), com os volumes estimados pelas 7 opções de estimar volume total com casca das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados nas Tabelas 18 e 19, respectivamente.

TABELA 18: Análise de variância do volume total com casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Significância. j = 0,05
TRAT	7	0,0007524514	0,0001074931	23,864	0.0000
BLC	14	0,0407375400	0,0029098240	645,995	0.0000
RESÍDUO	98	0,0004414320	0,0000045044		
TOTAL	119				

CV% = 3,9

TRAT = tratamento

BLC = bloco

TABELA 19: Resultado das comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume total com casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0595	A
8	15	0,0562	B
3	15	0,0562	B
7	15	0,0561	B
6	15	0,0561	B
5	15	0,0533	C
4	15	0,0517	D
2	15	0,0517	D

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 19 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente igual ao valor paramétrico para o teste utilizado. No entanto, as equações de volume de dupla entrada (T3) e a relação hipsométrica générica (T8), apresentaram estimativas que diferiram 5,5% em relação a média paramétrica, e a relação hipsométrica típica associada a equação de volume (T7) e a o fator de forma (T6) apresentaram erro de 5,7% em relação a mesma média. Este fato induz a concluir que para a espécie em questão, nos "Sites" em estudo, a correlação altura diâmetro não é forte, o que implica na necessidade de uso do DAP e altura total das árvores como elementos básicos para estimativa do volume. Este fato é reforçado pela

magnitude do erro (13,1%) dos métodos para estimar volume que baseiam-se só na variável diâmetro.

A partir dos valores apresentados na Tabela 15 pode-se comparar o volume paramétrico obtido das 15 parcelas com o volume total sem casca de *Eucalyptus camaldulensis*, estimados pelas 7 metodologias consideradas neste estudo.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados na Tabela 20 e 21, respectivamente.

Pode-se observar na Tabela 21 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente igual ao valor paramétrico para o teste utilizado. Os métodos baseados nas variáveis diâmetro e altura, apresentaram desempenho idêntico, e o modelo de simples entrada (T2) e da equação do povoamento (T5), foram os que apresentaram pior desempenho, diferindo em 19,1% e 21,5% do volume real médio, respectivamente. O método dos dois diâmetros (T4) apresentou melhor eficiência que os demais, com erro de 10% em relação ao valor real médio. Provavelmente, este fato se deu em virtude de variações na espessura da casca nas alturas de 1,3 e 3,0 m de altura.

TABELA 20 - Análise de variância do volume total sem casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Signif.
TRAT	7	0,001293701	0,0001848144	36,738	0.0000
BLC	14	0,029264420	0,0001848144	415,521	0.0000
RESÍDUO	98	0,000492998	0,0000050306		
TOTAL	119				

CV% = 4,8

Trat = tratamento

BLC = bloco

TABELA 21: Comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume total sem casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0539	A
4	15	0,0485	B
8	15	0,0468	C
3	15	0,0461	C
7	15	0,0460	C
6	15	0,0458	C
5	15	0,0436	D
2	15	0,0423	D

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade.

A partir dos valores apresentados na Tabela 16 pode-se comparar o volume paramétrico obtido das 15 parcelas com os volumes comercial com casca das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*, estimados pelas 7 metodologias considerados neste estudo.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados na Tabela 22 e 23, respectivamente.

TABELA 22: Análise de variância do volume comercial com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Signif.
TRAT	7	0,000789972	0,0001128531	18,815	0.0000
BLC	14	0,0398001300	0,0028428660	473,967	0.0000
RESÍDUO	98	0,0005878061	0,0000059980		
TOTAL	119				

CV% =4,6

Trat = tratamento

BLC = bloco

TABELA 23: Comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume volume com e sem casca até diâmetro de 3 cm com casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0586	A
3	15	0,0547	B
7	15	0,0546	B
6	15	0,0543	B
8	15	0,0541	B
5	15	0,0517	C
4	15	0,0504	C
2	15	0,0503	C

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 23 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente igual ao valor paramétrico para o teste utilizado. No entanto, as equações de volume de dupla entrada (T3), o fator de forma (T6), a relação hipsométrica típica associada a equação de volume (T7) e a relação hipsométrica genérica (T8) apresentaram estimativas que diferiram 6,6%, 7,3%, 6,8% e 7,7%, respectivamente, em relação a média paramétrica. Este fato induz a concluir que para a espécie em questão, nos “Sites” em estudo a correlação altura diâmetro não é forte, o que implica na necessidade de uso do DAP e altura total das árvores como elementos básicos para estimativa do volume. Este fato é reforçado pela magnitude do erro (14,0%) em relação a média paramétrica dos métodos para estimar volume que baseiam-se só na variável diâmetro.

A partir dos valores apresentados na Tabela 17 pode-se comparar o volume paramétrico obtido das 15 parcelas com os volume comercial sem casca das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*, estimados pelas 7 metodologias consideradas neste estudo.

Os resultados da análise de variância e do teste de médias são apresentados na Tabela 24 e 25, respectivamente

TABELA 24: Análise de variância do volume sem casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado Médio	Valor de F	Signif.
TRAT	7	0,00147754	0,0002110771	17,197	0.0000
BLC	14	0,02647417	0,001891005	154,068	0.0000
RESÍDUO	98	0,001202833	0,0000122738		
TOTAL	119				

CV% = 7,9

Trat = tratamento

BLC = bloco

TABELA 25: Comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, para volume sem casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca.

TRAT	Dados	Médias	Comparações
1	15	0,0530	A
6	15	0,0449	B
8	15	0,0448	B
3	15	0,0448	B
2	15	0,0436	B
5	15	0,0422	C
7	15	0,0417	C
4	15	0,0412	C

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 25 que nenhum dos métodos para estimar volume foi estatisticamente igual ao valor paramétrico para o teste utilizado. Verificou-se para as quatro variáveis dependente avaliadas, que sempre as equações de dupla entrada e relação hipsométrica se aproximaram do volume real. Mesmo apresentando erros maiores em algumas situações, a equação hipsométrica ainda é um excelente alternativa para estimar volume total e comercial com e sem casca. Exceção é notada para o método da equação de simples entrada (T2). Observou-se também que o fator de forma, teve um ótimo desempenho na estimativa do

volume. Este fato é explicado porque o fator de forma foi obtido e aplicado num povoamento onde a idade, sítio e espaçamento foi controlado. Pode-se portanto, fazer uso do fator de forma com segurança, quando o mesmo for obtido por idade e por sítio.

1.3.4 Espessura de Casca

Após ajustar diferentes modelos na tentativa de expressar a espessura de casca da árvore, através da espessura de casca medida na i -ésima altura nesta mesma árvore, selecionou-se as equações listadas na Tabela 26, como as que apresentaram maior correlação entre as variáveis em questão. A distribuição gráfica de seus resíduos pode ser observada na Figuras 6. Pode-se observar destas que a espessura de casca coletada à 1,20 m de altura, apresentou a maior correlação com a espessura média da árvore, apresentando uma distribuição gráfica de resíduo bastante satisfatória.

Na Tabela 27 é apresentada a mesma situação mostrada na Tabela 26, só que considerando mais de uma altura em que foi medida a espessura de casca em relação à média da árvore. As relações foram construídas através de “stepwise” e pode-se detectar que se esta medida for tomada a 0,30m, DAP, a 1,8m e a 3,0m a relação com a espessura média da casca das árvores será explicada em 77% de suas variações. A distribuição gráfica de seus resíduos pode ser observada na Figura 7.

TABELA 26: Equações que melhor estimam a espessura de casca de *Eucalyptus camaldulensis*, em relação a uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore.

Característica de interesse	Equações	R ² (%)	Syx	Syx (%)
Espessura de casca	$EC = 0,3324 + 0,3844 * Ec_{0,6m}$	0,62	0,124 250	13.63
	$EC = 0,3526 + 0,4172 * Ec_{0,9m}$	0,61	0,125606	13.77
	$EC = 0,3605 + 0,4531 * Ec_{1,2m}$	0,68	0,114502	12.55
	$EC = 0,3308 + 0,4840 * Ec_{1,3m}$	0,67	0,116209	12.74
	$EC = 0,3593 + 0,4809 * Ec_{1,5m}$	0,67	0,115984	12.72
	$EC = 0,3694 + 0,5019 * Ec_{1,8m}$	0,65	0,119440	13.10
	$LogEC = -0,2083 + 0,6125 * LogEc_{1,2m}$	0,72	0,113450	12.45

em que:

EC : espessura de casca média das árvores

Ec_i : espessura de casca medida na iésima altura

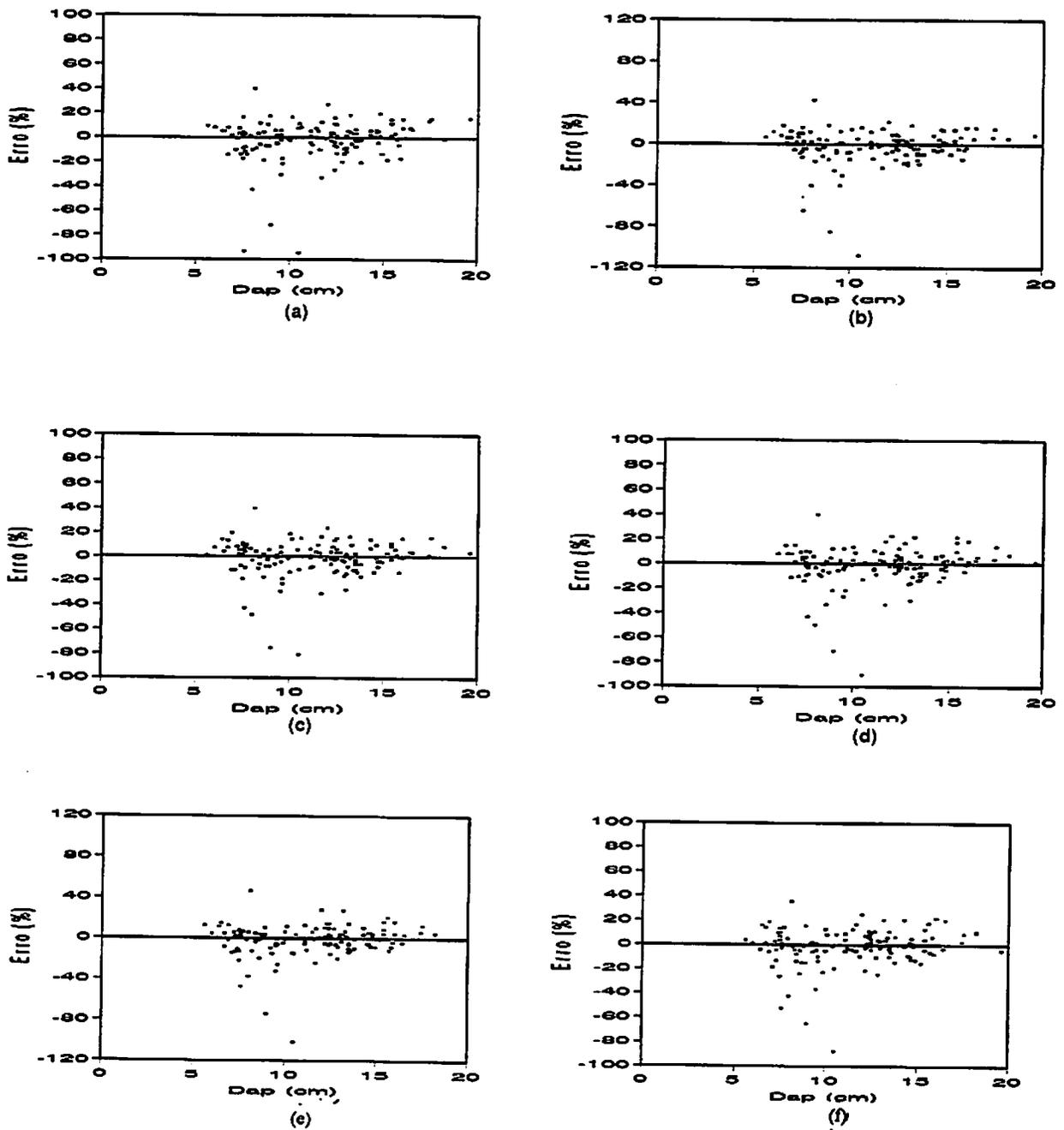


FIGURA 6: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,60 m (a); 0,90 m (b); 1,20 m (c), 1,30 m (d), 1,50 m (e) e 1,80 m (f).

TABELA 27: Equações para estimativa da espessura de casca de *Eucalyptus camaldulensis*, em relação a mais de uma posição de coleta ao longo do fuste da árvore

Característica de interesse	Equações	R ² (%)	Syx	Syx(%)
Espessura de casca	$EC = 0,2081 + 0,1241 \cdot Ec_{0,3m} + 0,1276 \cdot Ec_{1,3m} + 0,1774 \cdot Ec_{1,8m} + 0,1525 \cdot Ec_{3,0m}$	0,77	0,097612	10,71
	$EC = 0,5869 + 0,3809 \cdot Ec_{1,5m} - 0,1089 \cdot Ec_{1,8m}$	0,70	0,109883	11,94

EC, Ec = definidas anteriormente.

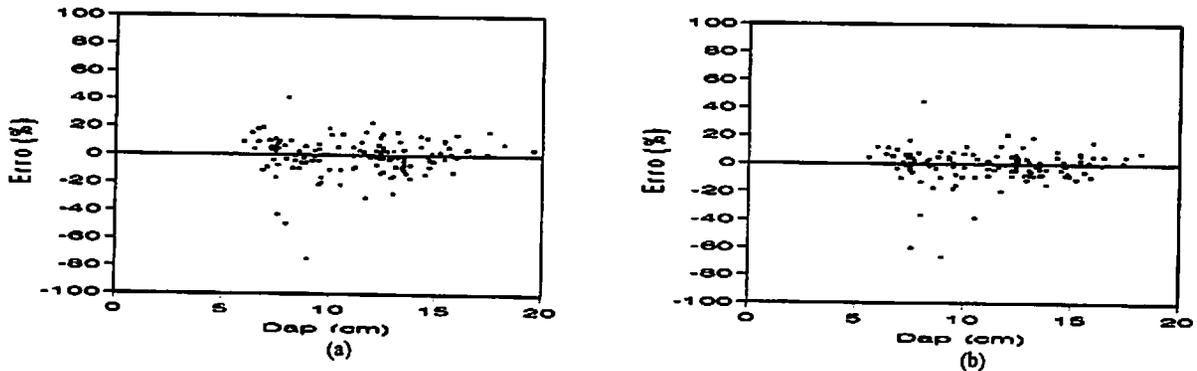


FIGURA 7: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de espessura de casca, nas alturas 0,3 m, 1,3 m, 1,8 m e 3,0 m (a); 1,5 m e 1,8 m (b).

1.4 CONCLUSÃO

- Os modelos volumétricos, que baseiam-se na estimativa do volume através da variável diâmetro e altura se mostraram superiores aqueles que baseiam-se somente no diâmetro.
- Os modelos hipsométricos genérico e tradicional mostraram-se igualmente eficientes quando conjugados a equação de volume de dupla entrada.

- As equações hipsométricas constituem-se numa ótima alternativa para fins do inventário florestal já que propiciam em parceria com a equação de dupla entrada estimativas tão eficientes quanto os demais métodos que baseiam-se no diâmetro e na altura, além de propiciarem menor custo de medição nas parcelas.
- As equações hipsométricas devem ser ajustadas de maneira que sejam controladas as variáveis idade, sítio e densidade do povoamento florestal.
- Os modelos volumétricos que baseiam-se somente na variável diâmetro, sistematicamente levaram a uma maior sub estimativa da variável volume.
- Para a situação de estudo as metodologias utilizadas para estimar volumes, propiciaram erros mínimos de 5% em relação ao valor paramétrico e erros máximos de 23% também em relação aos mesmos valores.
- O método dos dois diâmetros mostrou-se ser uma metodologia fácil de trabalho, no entanto, menos eficiente que as metodologias que baseiam-se nas variáveis diâmetro e altura, exceto no caso de volume total com casca.
- O fator de forma das estimativas de volume confiáveis, desde que se controle idade, espaçamento e sítio.
- A espessura de casca da árvore pode ser estimada através da espessura da casca coletada a 1,20 m para coleta em um único ponto, ou quando se deseja maior precisão pode-se tomar medidas a 0,30m, DAP, 1,80m e 3,0m de altura.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DAS METODOLOGIAS PARA ESTIMAR ESTOQUE DE BIOMASSA FLORESTAL E DETERMINAR O PONTO ÓTIMO NA ÁRVORE PARA OBTER A DENSIDADE BÁSICA PARA *Eucalyptus camaldulensis*

2.1 INTRODUÇÃO

O estoque de biomassa de uma floresta é definido como o peso de matéria seca existente num dado momento da vida do povoamento. Já o conhecimento ou a estimativa da biomassa da floresta ao longo de sua vida, só é possível de ser obtida se um monitoramento contínuo for efetuado na vegetação sob estudo, controlando inclusive queda de galhos, folhas, assim como nascimento de novos ramos e folhas.

Do ponto de vista da atividade florestal voltada ao setor energético, é mais interessante que a avaliação dos povoamentos florestais seja feita a partir da quantificação do estoque de biomassa, do que estoque volumétrico. A título de ilustração pode-se considerar um plantio de dois povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* (1) e outro de *Eucalyptus urophylla* (2) de mesma idade, em um mesmo local e sujeitos ao mesmo manejo. A espécie (1) produz aos 7 anos 150 m^3 de madeira e a espécie (2) 160 m^3 . Do ponto de vista volumétrico a espécie (2) é mais viável economicamente. No entanto, se o produto final for energia, então a espécie (1) pode gerar $88,5 \text{ ton/m}^3$ de matéria seca enquanto a espécie (2) gera 80 ton/m^3 . Para tal assumiu-se que a densidade da espécie (1) é $0,59 \text{ g/cm}^3$ e da espécie (2) $0,50 \text{ g/cm}^3$. Assim, após

considerar o produto final a espécie (1) deixou de ser a segunda opção, assumindo a condição de maior viabilidade econômica.

Corroborando com o ponto de vista apresentado anteriormente, Finke Herrera (1989) considera o peso seco, como sendo uma unidade de medida da produção e produtividade florestal a ser transformada em carvão, celulose e fibras para chapa, mais concreta que a quantificação de volume.

A estimativa da biomassa pode ser feita pelos mesmos métodos utilizados para estimar o volume. Esta pode ser obtida pelo produto do volume real e a densidade básica da própria árvore que compõe a amostra das árvores cubadas rigorosamente.

A determinação da densidade da madeira pode ser feita através de várias metodologias como, o método de imersão; método de saturação; método da balança, e outros. O utilizado neste estudo será o de imersão em água proposto por Vital (1984).

A densidade básica da madeira é uma propriedade física muito influenciada por vários fatores como: componentes anatômicos e químicos da madeira, idade, condições edafoclimáticas, variando também ao longo do fuste e no sentido radial. Esta comprovação já foi relatada em vários estudos por vários autores, podendo-se citar dentre outros, Panshi e Zeuw (1970), Shimoyama (1990) e Silva (1991).

Foelkel, Mora e Menorhelli (1990) caracterizaram a densidade básica da madeira como um dos principais índice para avaliar a qualidade da madeira para diversos fins. Trugilho et al (1991) fizeram a mesma consideração sobre a importância da densidade básica quando a madeira é utilizada para fins energéticos.

Este trabalho teve como objetivos testar a eficiência de modelos de dupla entrada, de simples entrada, de dupla entrada associados à relação hipsométrica e o método dos dois

diâmetros, assim como, identificar o ponto ótimo de amostragem na árvore, para estimar a densidade básica da madeira.

2.2 MATERIAL E MÉTODO

2.2.1 Região

O estudo foi realizado em um maciço florestal de *Eucalyptus camaldulensis* localizado na Fazenda Patagônia no Município de João Pinheiro (MG), conforme pode-se visualizar na Figura 1, pertencente a Mannesmann Florestal Ltda. De acordo com Golfari (1975), a cidade de João Pinheiro está localizada na região bioclimática 7, no setor oeste e norte da Serra do Espinhaço, com altitude entre 600m a 1000m, compreendendo chapadões baixos e colinas com relevo ondulado suave a ondulado forte. O clima é subtropical úmido e subúmido. A temperatura média anual varia entre 19° e 22°C. Apresenta evapotranspiração potencial anual entre 900 a 1100mm. Os solos são predominantes, luvisolos férricos, ferrassolos ácidos e arenossolos ferrálicos, e a vegetação é de cerrado com diferentes tipologias.

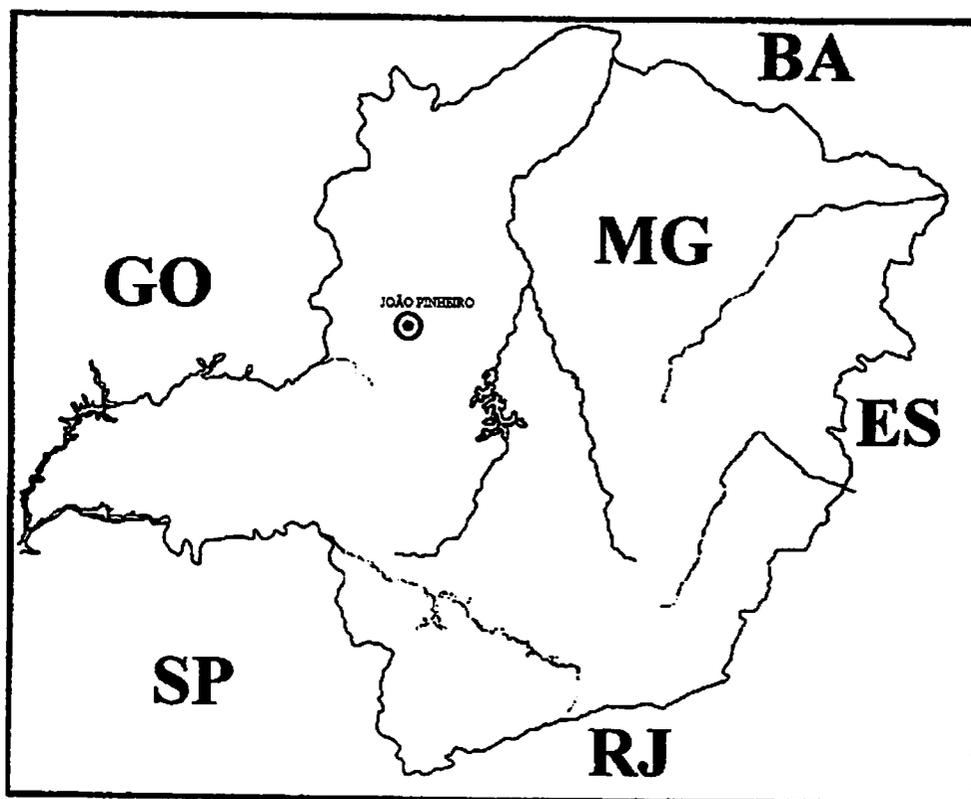


FIGURA 1: Área de realização do estudo

2.2.2 Levantamento de Dados

Na quantificação da variável peso seco, foram utilizadas 127 árvores, distribuídas em diferentes classes de diâmetro e altura. O espaçamento por ocasião do plantio foi de 3 x 2,5m e as idades amostradas variaram de 28 a 76 meses. A distribuição das árvores amostra por classe de diâmetro e altura está apresentada na Tabela 1.

TABELA 1: Distribuição de frequência das árvores amostradas na cubagem rigorosa por classe de DAP e classe de altura

Classe de DAP (cm)	Valor central das classes de altura total (m)							Total
	9	11	13	15	17	19	21	
5,0 — 7,5	5	8						13
7,5 — 10,0	2	20	11	2				35
10,0 — 12,5		1	2	7	16	2		28
12,5 — 15,0				2	19	14		35
15,0 — 17,5						9	4	13
17,5 — 20,0					1	1	1	3
Total	7	29	13	11	36	26	5	127

Para fins de determinação volumétrica foi medido o diâmetro de 0,30 em 0,30 m desde a base até 3 m de altura. Após esta altura os diâmetros foram coletados de metro em metro, utilizando-se de suta com graduação de 0,1 cm. O volume foi calculado pela fórmula de Smalian. De forma complementar foi medida a espessura da casca, o que possibilitou obter o volume total sem casca.

A densidade básica da madeira foi obtida de discos retirados de 1 em 1 metro, da base da árvore até 3 cm de diâmetro com casca, tendo os discos espessura de 2,5 cm.

Após a coleta no campo, a porção do lenho amostrada em cada árvore foi trazida para o laboratório de Tecnologia da Madeira do DCF-UFLA, onde foi obtido o volume verde de cada disco pelo método de imersão como descrito por Vital (1984), e utilizado também por Brasil, Veiga e Timoni (1994), para teste de erro na determinação da densidade básica da madeira. Em seguida, foi obtido o peso seco em estufa, com circulação de ar forçada, a uma temperatura

de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, por um período de 48 horas, até um peso seco constante dos discos. De posse destes dados, foi calculado então a densidade básica da madeira longitudinalmente de cada árvore. E depois foi calculada a densidade básica média ponderada de cada árvore, conforme Barrichelo, Brito e Migliorini (1982), sendo esta utilizada para cálculo do peso seco por árvore, como se segue:

$$DB_p = \left(\frac{(D_i^2 + D_{i+1}^2) \cdot (DB_i + DB_{i-1})}{\sum_{i=1}^n D_i} \right) \cdot 0,5$$

em que,

DB_p = densidade básica média ponderada de cada árvore

DB_i = densidade do i ésimo disco

D_i = diâmetro do i ésimo disco

n = número de discos coletados por árvore

2.2.3 Modelos para expressar Biomassa (Peso Seco)

Para estimar o peso seco, foram utilizados modelos de simples entrada, dupla entrada e o método dos dois diâmetros, tendo como variável dependente o peso seco total com casca, o peso seco total sem casca, peso seco com casca até diâmetro mínimo de 3 cm com casca e o peso seco sem casca até diâmetro mínimo de 3 cm com casca. O mesmo modelo selecionado para o peso seco total com casca, foi utilizado para o peso seco sem casca, o peso seco com casca até diâmetro mínimo de 3 cm com casca e para o peso seco sem casca até diâmetro mínimo de 3 cm com casca, para os procedimentos de simples entrada, o de dupla entrada e o da relação hipsométrica associada a equação de dupla entrada.

2.2.3.1 Modelos de Simples Entrada

Na Tabela 2 são apresentados os modelos de simples entrada que serão testados para as 4 variáveis dependentes consideradas. A variável independente é o diâmetro com casca a 1,30 m.

TABELA 2: Modelos de simples entrada para biomassa

Característica de interesse	Modelos
Peso Seco (Kg)	$PS = \beta_0 + \beta_1 D^2 + e_i$ $PS = \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$ $PS = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$ $PS = \beta_0 + \beta_1 D^{\beta_1} + e_i$ $\text{Log PS} = \beta_0 + \beta_1 \text{LogD} + \text{Log } e_i$ $\text{Log PS} = \beta_0 + \beta_1 \text{LogD} + \beta_2/D + \text{Log } e_i$

Fonte : Módulo 3 FAEPE (Scolforo, 1993)

em que:

PS = peso seco

D = diâmetro a 1,30 m

Log = logaritmo natural

β_i s = parâmetros a serem estimados

e_i = erro de estimativa

2.2.3.2 Modelos de Dupla Entrada

Na Tabela 3 são apresentados os modelos de dupla entrada que serão testados para as 4 variáveis dependentes consideradas. As variáveis independente variam de modelo para modelo, sendo de forma geral o diâmetro com casca a 1,30 m (DAP), a altura total da árvore (H) e os seus produtos.

TABELA 3: Modelos de dupla entrada para biomassa

Característica de interesse	Modelos
Peso Seco (Kg)	$PS = \beta_0 + \beta_1 D^2 H + e_i$
	$PS = \beta_0 D^{\beta_1} H^{\beta_2} + e_i$
	$PS = D^2 / [\beta_0 + \beta_1 (1/H)] + e_i$
	$PS = D^2 (\beta_0 + \beta_1 H) + e_i$
	$PS = \beta_0 + \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 H^3 + e_i$
	$PS = \beta_1 D^2 + \beta_2 D^2 H + \beta_3 D H^2 + \beta_4 H^2 + e_i$
	$PS = D^2 H / (\beta_0 + \beta_1 D) + e_i$
	$PS = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D H + \beta_4 D^2 H + \beta_5 H + e_i$
	$\text{Log PS} = \beta_0 + \beta_1 \text{Log}(D^2 H) + \text{Log } e_i$

Fonte : Módulo FAEPE (Scolforo, 1993)

em que:

H = altura total da árvore

PS, D, Log, β_i = já definidos anteriormente

2.2.3.3 Modelo de Dupla Entrada com Relação Hipsométrica

Neste item o interesse é a redução dos custos do inventário florestal. Para tal, utilizou-se a relação hipsométrica associada as equações de biomassa de dupla entrada. As relações hipsométricas foram ajustadas, controlando-se o efeito idade, sítio, e espaçamento. Os modelos testados são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4: Modelos hipsométricos típicos.

Autores/modelo	Modelos selecionados
Parabólico	$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$
Stofel	$\text{Log} H = \beta_0 + \beta_1 \text{log} D + \text{Log } e_i$
Petterson	$H = 1 / (\beta_0 + \beta_1 / D)^{1/3} + e_i$
Prodan	$H = (D^2) / \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + e_i$

em que:

$H, D, \beta_0, \beta_1, \text{Loge}_i$ = já foram definidos anteriormente

2.2.3.4 Método de Dois Diâmetros

A questão central neste método é que a biomassa de qualquer porção da árvore é altamente correlacionada com a biomassa total ou mesmo com qualquer biomassa comercial. Desta maneira o interesse é saber qual porção da árvore de *Eucalyptus camaldulensis* é mais correlacionada com a biomassa total com e sem casca e com a biomassa comercial com e sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca.

Buscando responder a esta pergunta, a cubagem rigorosa foi efetuada de 0,30m em 0,30m desde a base da árvore até a altura de 3,00m. Foi calculado o volume de várias seções, tendo sempre como uma das extremidades o diâmetro a 1,30m (DAP). Obteve-se também a biomassa de 0,00m - 1,30m; 0,30m - 1,30m; 0,60m - 1,30m; 0,90m - 1,30m; 1,20m - 1,30m; 1,30m - 1,50m; 1,30m - 1,80m; 1,30m - 2,10m; 1,30m - 2,40m; 1,30m - 2,70; 1,30m - 3,00m). O produto deste volume com a densidade básica permite obter a biomassa. A biomassa de cada torete (V_i), foi correlacionada a biomassa total da árvore, através do ajuste de equação de regressão linear visando detectar qual biomassa (PS_i), apresentou maior correlação com a biomassa total da árvore com casca, sem casca, e com a biomassa com casca e sem casca até um diâmetro 3 cm com casca. O desenvolvimento do método, assim como, sua operacionalização é descrito a seguir:

Utilizando-se a equação da reta estabelece-se a relação entre o peso seco do torete e o peso seco da árvore:

$$PS = \beta_0 + \beta_1 (PS_i) \quad (1)$$

em que,

PS = peso seco total da árvore

β_i = parâmetros a serem estimados

PS_i = peso seco entre o DAP ou D e o diâmetro a uma íésima altura (Hi)

Como o peso seco de qualquer pequena seção pode ser obtido através da fórmula de

Smalian tem-se:

$$PS_i = \left\{ \left[\frac{(\pi D^2/40000) + (\pi Di^2/40000)}{2} \right] * L \right\} DBp \quad (2)$$

Então substituindo (2) em (1), a equação ajustada pode assumir a forma:

$$PS = \beta_0 + \left\{ \beta_1 \left[\frac{(\pi D^2/40000) + (\pi Di^2/40000)}{2} \right] * L \right\} DBp$$

$$PS = \beta_0 + \left\{ \beta_1 (\pi/80000) * L * (D^2 + Di^2) \right\} DBp$$

Sendo $K = (\pi/80000) * L * DBp$, então

$$PS = \beta_0 + \beta_1 * K * (D^2 + Di^2) \quad (3)$$

em que:

D = diâmetro a 1,30m de altura

Di = diâmetro a íésima altura

L = comprimento da seção em relação ao DAP

β_i = parâmetro da equação

DBp = densidade básica ponderada da árvore

A expressão 3 é a forma final de trabalho. A identificação de qual conjunto de diâmetro levou a uma biomassa de torete que mais se correlacionou com a biomassa total ou comercial da árvore foi verificado através da regressão linear simples. Identificado o par de diâmetro, pode-se tentar dar maior praticidade ao método através da eliminação da medida do outro diâmetro que não o DAP, a nível das parcelas do inventário. Para tal utilizou-se os dados da

cubagem rigorosa para estabelecer uma relação linear entre o diâmetro a qualquer altura e o DAP ou D. Esta apresentado na Tabela 5 os modelos lineares que foram testados. Para efeito ilustrativo, foi utilizado a equação da linha reta.

$$D_i = \beta_2 + \beta_3 * D \quad (4)$$

Substituindo então (4) em (3) tem-se:

$$PS = \beta_0 + \beta_1 * K * [D^2 + (\beta_2 + \beta_3 * D)^2]$$

TABELA 5: Modelos matemáticos para estimativa do diâmetro a diferentes alturas

NOME DO MODELO	Modelos
RETA	$D_i = \beta_0 + \beta_1 D$
HIPÉRBOLE	$D_i = \beta_0 + \beta_1 (1/D)$
RETA (logaritimizada)	$\text{Log } D_i = \beta_0 + \beta_1 \text{Log } D$

em que:

D_i , D , $\text{Log } e_i$ já foram definidos anteriormente

2.2.3.5 Ponto Ótimo para Obter a Densidade Básica da Madeira

Neste item o objetivo maior é detectar a altura na árvore onde se deve coletar amostra de madeira que represente a densidade básica média da árvore. Utilizou-se para tal a técnica de regressão, através do ajuste dos modelos listados na Tabela 6, dos quais a variável dependente foi sempre a densidade básica ponderada da árvore e as variáveis independentes foram as densidades a 0,0 m; a 1,0 m; a 1,30 m; 2,0 m; a 3,0 m; a 4,0 m; a 5,0 m; a 6,0 m; e a 1, 3 e 6 metros.

A relação que apresentar maior correlação, melhor distribuição dos resíduos e menor erro padrão residual é que definirá o ponto ótimo onde deverá ser coletado o material lenhoso para fins de estimativa da densidade básica da árvore.

O estudo foi realizado a nível de idade e genericamente através do agrupamento das árvores cubadas nas diferentes idades.

TABELA 6: Modelos ajustados para identificar ponto de amostragem para densidade básica da madeira

Característica de interesse	Modelos
Densidade Básica madeira (g/cm^3)	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{base}$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{1m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{2m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{DAP} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{3m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{4m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{5m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{6m} + e_i$
	$DB_p = \beta_0 + \beta_1 DB_{1m} + \beta_2 / DB_{3m} + \beta_3 DB_{6m} + e_i$

em que:

DB_p = é a densidade básica ponderada da árvore

DB_i = é a densidade básica na iésima altura

β_i , e_i = já foram definidos anteriormente

2.2.3.6 Critérios para Seleção dos Modelos

Na seleção das melhores equações foram utilizados as seguintes medidas de precisão:

- Coeficiente de determinação corrigido (R^2)
- Erro padrão residual em percentagem ($Syx\%$) na escala da variável original
- Distribuição gráfica dos resíduos.

2.2.3.7 Eficiência dos Procedimentos

Utilizou-se de um delineamento experimental de bloco ao acaso (DBC) em que as classes de diâmetro constituíram os blocos. A média da biomassa real de cada árvore, deu origem a testemunha 1 (T1); a média da biomassa estimada através da equação de simples entrada, o tratamento 2 (T2); a média da biomassa estimada através da equação de dupla entrada, o tratamento 3 (T3); a média da biomassa estimada através equação de dupla entrada associada a relação hipsométrica, o tratamento 4 (T4); e a média da biomassa estimada através do método dos dois diâmetros, o tratamento 5 (T5).

Utilizou-se para este experimento 127 árvores que compuseram a amostra da cubagem rigorosa. Estas foram agrupadas em classes diamétricas para controlar o efeito da variabilidade. Assim, foram definidos 7 blocos. O primeiro compreende as árvores com diâmetro ente 3,1 e 6 cm; o segundo compreendeu as árvores com diâmetro entre 6,1 e 9cm; e sucessivamente até totalizar 7 classes diamétricas.

Se for detectada diferença significativa entre os tratamentos será executado o teste de média Scott-Knott, conforme Pimentel Gomes (1984), considerando nível de significância $\alpha = 0,05$.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Estimativa do peso seco através da equação de simples entrada

Na Tabela 7, são apresentadas as equações selecionadas, para estimar o peso seco total com e sem casca, peso seco com e sem casca até o diâmetro mínimo de 3 cm com casca, assim como suas medidas de precisão, coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão residual (Syx). Na Figura 2, são apresentadas as distribuições gráficas dos resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 7: Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco

Peso seco (kg)	Equações	R^2	Syx	Syx%
total c/c	$\text{LogPStc/c} = - 9,609445 + 2.639424\text{LogD}$	0,972	0,00676	14,20
total s/c	$\text{LogPSts/c} = - 9,947055 + 2.696071\text{LogD}$	0,962	0,00650	16,47
até 3cm c/c	$\text{LogPS3c/c} = - 9,902629 + 2,707135\text{LogD}$	0,970	0,00709	15,47
até 3cm s/c	$\text{LogPS3s/c} = - 10,195000 + 2,785247\text{LogD}$	0,965	0,00613	15,86

D ou DAP = diâmetro tomado a 1,30 m

Log = logarítimo natural

PStc/c = peso seco total com casca

PSts/c = peso seco total sem casca

PS3c/c = peso seco com casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

PS3s/c = peso seco sem casca até diâmetro mínimo de três (3) centímetros com casca

O modelo que melhor se ajustou aos 4 conjuntos de dados foi o logarítimico, e conforme pode-se observar pelas medidas de precisão, apresentaram valor mínimo de coeficiente de determinação (R^2) 96% e valor máximo de erro padrão da estimativa de 16,47%. Conforme observado na Figura 2 para as 4 situações de estudo a estimativa da biomassa é obtida sem tendenciosidade para qualquer classe de diâmetro.

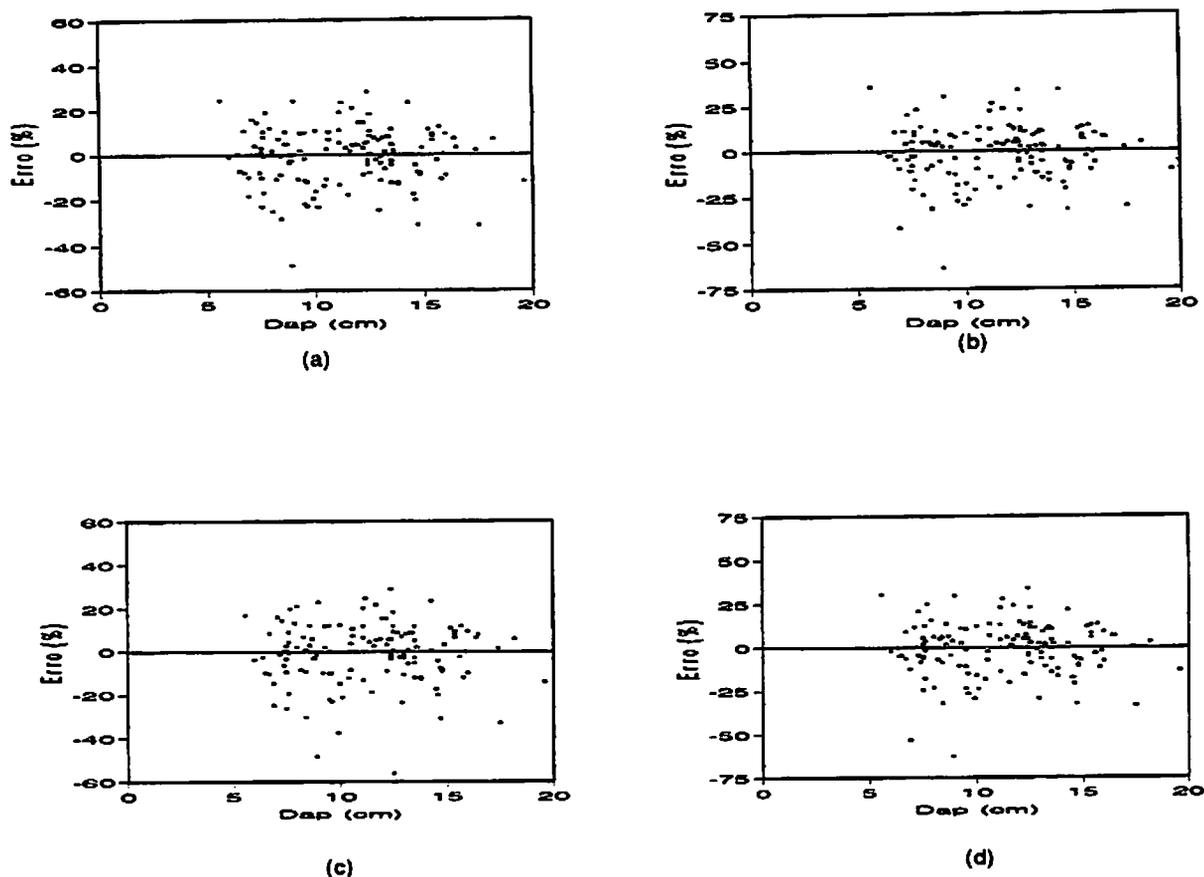


FIGURA 2: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

2.3.2 Estimativa do peso seco através da equação de dupla entrada

Na Tabela 8, são apresentadas as equações selecionadas para estimar o peso seco total com e sem casca, o peso seco com e sem casca até o diâmetro mínimo de 3 cm com casca, assim como suas medidas de precisão. Na Figura 3 são apresentadas as distribuições gráficas de resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 8: Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco.

Peso seco (kg)	Equações	R ²	Syx	Syx%
total c/c	$PStc/c = 0,002222 - 0,000062D^2 + 0,00002D^2H + 0,000001405DH^2$	0,972	0,00547	11.5
total s/c	$PSts/c = 0,003170 - 0,000128D^2 + 0,00002D^2H + 0,000001820DH^2$	0,967	0,00505	12.8
até 3cmc/c	$PS3c/c = 0,002154 - 0,000082D^2 + 0,000021D^2H + 0,000001277DH^2$	0,969	0,00565	12.1
até 3cm s/c	$PS3s/c = 0,002119 - 0,000109D^2 + 0,000019D^2H + 0,000001457DH^2$	0,972	0,00461	11.9

H = altura total da árvore

Pstc/c, Psts/c, PS3c/c, PS3s/c = já foram definidos anteriormente

O modelo que melhor se ajustou aos 4 conjuntos de dados foi construído por "Stepwise" utilizando para tal o software estatístico "Statgraphics" versão 6.1. Comparativamente com as equações de simples entrada, houve uma queda média de 3% na estimativa do erro padrão residual, quando utilizou-se as equações de dupla entrada. Desta forma, mais uma vez ficou claro que a altura é uma variável que tem uma participação extremamente significativa no modelo. Se aplicar a equação apenas para uma árvore, este erro não é expressivo. Porém, quando extrapolar para milhares de árvores, este erro torna-se grande. Como no meio florestal os povoamentos são grandes áreas, esta diferença pode ser expressiva. Logo, a utilização de modelos de dupla entrada é preferido ao de simples entrada. Uma análise mais detalhada sobre a vantagem ou não de se utilizar a variável altura, no modelo, será apresentada posteriormente.

Na Figura 3, pode-se observar que a distribuição gráfica dos resíduos para estimativa da biomassa seja para árvores com DAP pequenos, médios ou grandes, considerando a amostra utilizada neste estudo.

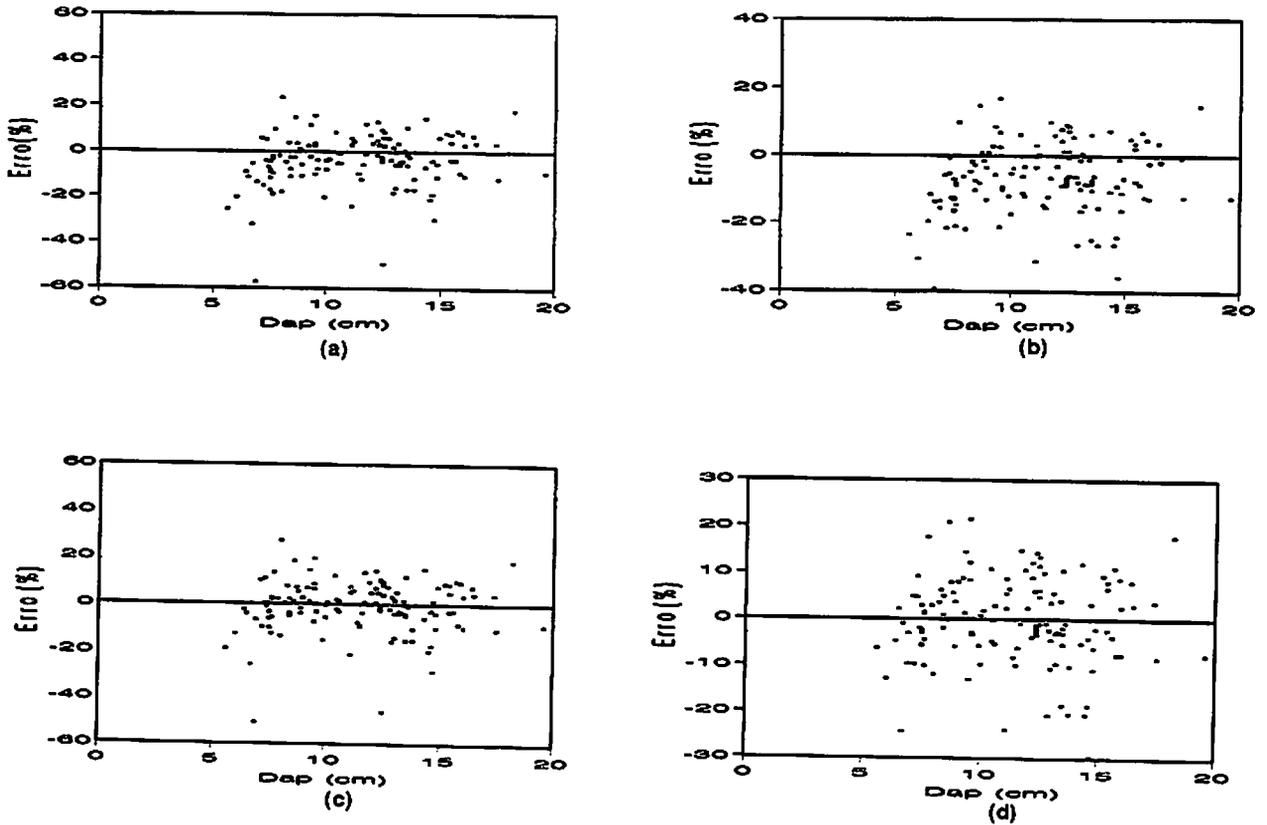


FIGURA 3: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

Resultado semelhante foi encontrado por Oliveira, Lima e Rosado (1991), e Scolforo, Lima e Silva (1993) em estudo de estimativa de peso seco para cerrado *Sensu Stricto*, testando os modelos tradicionais que não se ajustaram bem para esta variável dependente, sendo necessário desenvolver outros modelos.

2.3.3 Relação hipsométrica associada a equação de biomassa de dupla entrada

Para a associação da relação hipsométrica típica com as quatro categorias volumétricas, selecionou-se as equações apresentadas na Tabela 9, a nível de talhão.

TABELA 9: Equações hipsométricas e suas medidas de precisão

Talhão	Equações selecionadas	R ²	Syx	Syx%
1	$H = ((D^2)/(-6,11428 + 1,974551D - 0,056181D^2)) + 1,3$	0,64	0,90563	7,4
2	$H = ((D^2)/(-0,72603 + 0,58003 D + 0,019199D^2)) + 1,3$	0,78	1,00506	5,8
3	$H = ((D^2) / (0,21891 + 0,38239 D + 0,027555D^2)) + 1,3$	0,79	1,04479	6,0
4	$H = ((D^2)/(-5,57364 + 0,95195 D + 0,011697D^2)) + 1,3$	0,88	0,83868	4,1

Estas equações em conexão com as equações de biomassa de dupla entrada apresentadas no item 2.3.2, possibilitarão a obtenção de estimativas da biomassa a custos sensivelmente mais baixos, já que neste caso somente parte das árvores (20%) tem suas alturas mensuradas na parcela do inventário florestal. Vale ressaltar que 20% das alturas medidas é simplesmente um referencial.

2.3.4. Estimativa do Peso Seco através do Método dos Dois Diâmetros

A partir do estudo da correlação, do erro da estimativa e erro da estimativa em percentagem, verificou que o torete de 1,30 m até 3,0 m, melhor se correlacionou com a biomassa total e comercial. Este mesmo torete foi considerado para fazer estimativa das variáveis peso seco total sem casca, e peso seco com e sem casca até diâmetro de 3 cm com casca.

Na Tabela 10, são apresentadas as equações selecionadas, assim como suas medidas de precisão. Na Figura 4 são apresentadas as distribuições de resíduos para as equações selecionadas.

TABELA 10: Parâmetros estimados e medidas de precisão das equações para estimar peso seco.

Peso seco (kg)	Equações	R ²	Syx	Syx%
total c/c	$PStc/c = -0,021181 + 3,970161 [k \cdot (D^2 + D^2_{3m}) + 0,000059 / [k (D^2 + D^2_{3m})]$	0,971	0,00552	116
total s/c	$PSts/c = -0,020037 + 3,395279 [k \cdot (D^2 + D^2_{3m}) + 0,000057 / [k (D^2 + D^2_{3m})]$	0,961	0,00549	13.9
até 3cmc/c	$PS3c/c = -0,022285 + 3,969374 [k \cdot (D^2 + D^2_{3m}) + 0,000061 / [k (D^2 + D^2_{3m})]$	0,968	0,00579	12.4
até 3cm s/c	$PS3s/c = -0,020214 + 3,367639 [k \cdot (D^2 + D^2_{3m}) + 0,000055 / [k \cdot (D^2 + D^2_{3m})]$	0,967	0,00500	12.9

em que:

$$D_{3m} = -0,81459 + 0,92588D$$

$$k = (3,1416 / 80000) \cdot 1,7$$

Log, PStc/c, PSts/c, PS3c/c, PS3s/c = já foram definidos anteriormente

Pode-se observar na Tabela 10 e Figura 4 que o desempenho do método dos dois diâmetros é bastante satisfatório, já que apresenta desempenho semelhante ao das equações de dupla entrada. Este fato pode levar o manejador florestal a fazer uso de uma metodologia que implicará em grande economia nos levantamentos florestais.

Para evitar a medida do diâmetro a 3 metros de altura da árvore pode-se fazer uso da relação $D_{3m} = -0,81459 + 0,925881 D$ ($R^2 = 0,99$); ($Syx\% = 8,7$), definida para a população em questão.

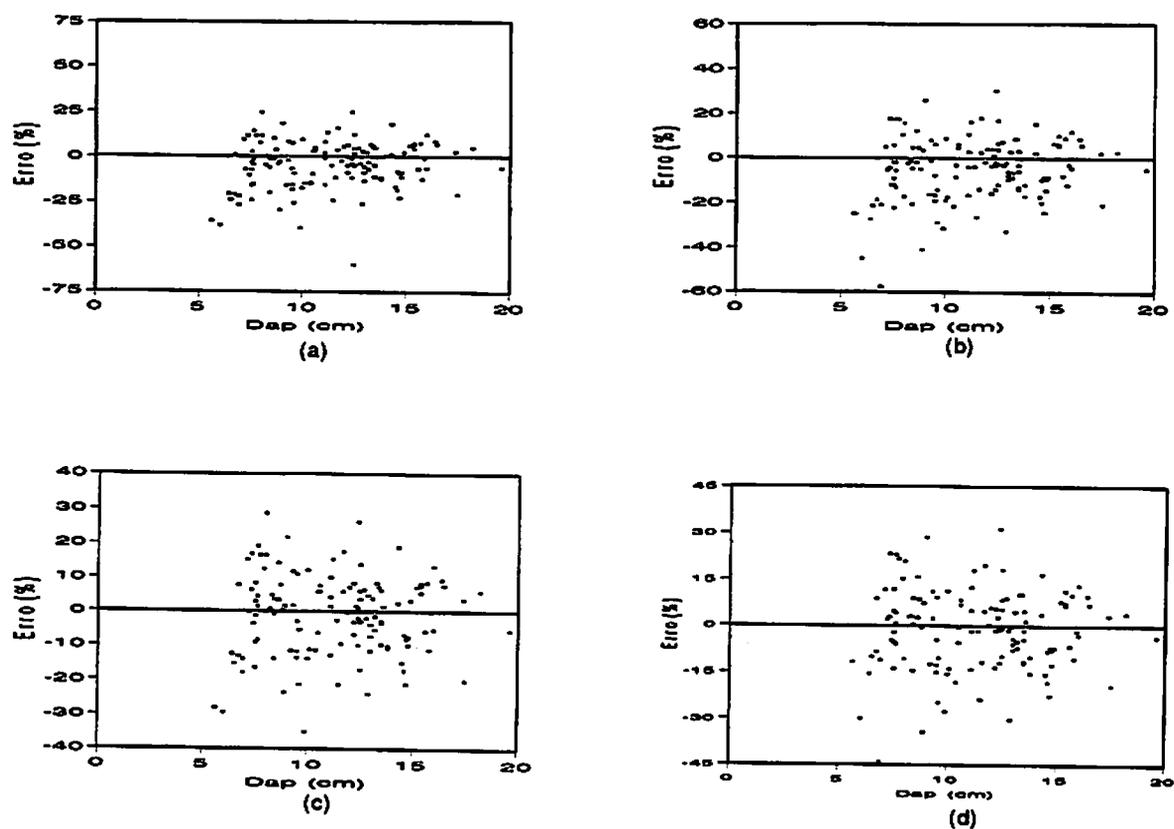


FIGURA 4: Distribuição gráfica dos resíduos para a equação de peso seco total com casca (a), peso seco total sem casca (b), peso seco com casca até 3 cm de diâmetro com casca (c) e peso seco sem casca até 3 cm de diâmetro com casca (d)

2.3.5. Eficiência dos Métodos sob Estudo

Nas Tabelas 11, 12, 13, 14 estão apresentados os valores médios do peso seco total com e sem casca, do peso seco com e sem casca até um diâmetro de 3 cm com casca, para cada uma das 7 classes de diâmetros cujas árvores foram cubadas rigorosamente e para os cinco tratamentos sob estudo. Em todas as situações foi efetuado o teste de normalidade de Bartlett,

conforme Pimentel Gomes (1984) e para as quatro situações constatou-se normalidade dos dados ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

TABELA 11: Pesos secos médios total real com casca, e os peso seco médio estimados pelos quatro métodos sob estudo (experimento 1).

TRATAMENTO	1	2	3	4	5
BLOCO					
1	0,009220	0,009326	0,010075	0,010175	0,010475
2	0,015820	0,015970	0,015583	0,015381	0,015245
3	0,026632	0,027706	0,026078	0,027707	0,027064
4	0,051143	0,048286	0,049769	0,049562	0,049512
5	0,067482	0,069426	0,070223	0,070442	0,070461
6	0,102360	0,097542	0,098961	0,097279	0,096290
7	0,133335	0,142285	0,130678	0,136234	0,133783

em que:

T1 = Testemunha (peso seco real das árvores cubadas)

T2 = Média aritmética dos peso seco estimados pela equação de simples entrada

T3 = Média aritmética dos peso seco estimados pela equação de dupla entrada

T4 = Média aritmética dos peso seco estimados pela equação de dupla entrada associada a relação hipsométrica típica

T5 = Média aritmética dos peso seco estimados pelo método dos dois diâmetros

TABELA 12: Pesos secos médios total real sem casca, e o peso seco médio estimado pelos métodos sob estudo (experimento 2).

TRATAMENTO	1	2	3	4	5
BLOCO					
1	0,006564	0,006826	0,007576	0,007485	0,007962
2	0,012041	0,012042	0,011802	0,011515	0,011476
3	0,020648	0,021528	0,020222	0,021712	0,021171
4	0,041635	0,038687	0,040431	0,040088	0,040182
5	0,054913	0,056752	0,057707	0,057981	0,057926
6	0,085235	0,081221	0,082367	0,080438	0,079795
7	0,110961	0,121020	0,108527	0,113439	0,111513

em que:

T1, T2, T3, T4 e T5 = já definidos anteriormente.

TABELA 13: Pesos secos médios total real com casca até 3 cm de diâmetro, e o peso seco médio estimado pelos métodos sob estudo (experimento 3).

TRATAMENTO	1	2	3	4	5
BLOCO					
1	0,007352	0,007399	0,008588	0,008233	0,009010
2	0,012739	0,012818	0,012873	0,012176	0,012517
3	0,021236	0,022499	0,021518	0,022376	0,022548
4	0,042310	0,039682	0,042633	0,040853	0,042358
5	0,056145	0,057502	0,060561	0,058869	0,060796
6	0,086011	0,081370	0,086263	0,081494	0,083470
7	0,111903	0,119678	0,113044	0,114753	0,116273

em que:

T1, T2, T3, T4 e T5 = já definidos anteriormente.

TABELA 14: Pesos secos médios total real sem casca até 3 cm de diâmetro, e o peso seco médio estimados pelos métodos sob estudo (experimento 4).

TRATAMENTO	1	2	3	4	5
BLOCO					
1	0,008308	0,007898	0,009532	0,009512	0,009941
2	0,015241	0,013713	0,014877	0,014500	0,014532
3	0,025907	0,024124	0,025193	0,026779	0,026207
4	0,049797	0,042646	0,048869	0,048564	0,048609
5	0,066680	0,061891	0,069329	0,069710	0,069565
6	0,101419	0,087704	0,098189	0,096220	0,095446
7	0,132250	0,129202	0,129874	0,135151	0,133075

em que:

T1, T2, T3, T4 e T5 = já definidos anteriormente.

A partir dos valores apresentados na Tabela 11, 12, 13, 14 pode-se comparar através do delineamento em blocos casualizados (DBC) o peso seco médio paramétrico, com os pesos secos estimados pelos 4 procedimentos de estimativa do peso seco das árvores de *Eucalyptus camaldulensis*.

Os resultados da análise de variância para peso seco total com e sem casca, e peso seco comercial sem casca são apresentados nas Tabelas 15, 16, 17 respectivamente. Os resultados mostram que não existe diferença significativa para estimar peso seco, através de qualquer um dos métodos testados. Já para o peso seco comercial com casca, apresentado nas Tabelas 18 e 19, o peso seco obtido através do método de simples entrada, mostra-se ineficiente em relação aos demais.

TABELA 15: Análise de variância peso seco total com casca.

FONTE DE VARIACÃO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
TRATAMENTO	4	0,0000073575	0,0000018394	0,415	*****
BLOCO	6	0,0644376200	0,0107396000	2425,144	0,000000
RESÍDUO	24	0,0001062825	0,0000044284		
TOTAL	34				

TABELA 16: Análise de variância para peso seco total sem casca.

FONTE DE VARIACÃO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
TRATAMENTO	4	0,00000953	0,00000238	0,756	*****
BLOCO	6	0,04725524	0,00787587	2497,536	0,00000
RESÍDUO	24	0,00007568	0,00000315		
TOTAL	34				

TABELA 17: Análise de variância para peso seco sem casca até 3 cm com casca.

FONTES DE VARIACÃO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
TRATAMENTO	4	0,00000746	0,00000186	0,386	*****
BLOCO	6	0,04608536	0,00768089	1589,125	0,00000
RESÍDUO	24	0,00011600	0,00000483		
TOTAL	34				

TABELA 18: Análise de variância para peso seco com casca até 3 cm com casca.

FONTES DE VARIACÃO	G.L.	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
TRATAMENTO	4	0,00011269	0,00002817	6,764	0,00086
BLOCO	6	0,06194513	0,01032419	2478,687	0,00000
RESÍDUO	24	0,00009996	0,000004165		
TOTAL	34				

TABELA 19: Resultado das comparações pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

TRATAMENTO	MÉDIAS	COMPARAÇÕES
4	0,05721	A
1	0,05709	A
5	0,05677	A
3	0,05655	A
2	0,05245	B

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de 5% de probabilidade

Observou-se pelas médias apresentadas na Tabela 19, que os métodos estimativos que considera o diâmetro e a altura, apresentaram diferenças inferiores a 1% em relação ao real, exceto o método das 2 toras.

2.3.6 Definição do ponto ótimo para tomada de material lenhoso para obter densidade básica

Utilizando a variável biomassa total com casca em relação as variáveis independentes definidas no item 2.2.3.5. Observou-se que a maior correlação de uma variável em relação a biomassa total foi quando o material lenhoso foi coletado a 1 metro de altura na árvore. Este fato é confirmado ao observar a regressão linear apresentada na Tabela 20, evidenciando um coeficiente de determinação de 91% . Também na Figura 5 é observada uma distribuição relativamente boa de resíduo.

TABELA 20: Equações para estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus camaldulensis*, em relação a posição de amostragem na árvore.

Característica de interesse	Modelos	R ² (%)	Syx(%)
Dens. Básica (g/cm ³)	$DB_p = 0,16405 + 0,71623*Db_b$	0,79	2,79
	$DB_p = 0,09562 + 0,85534*DB_{1m}$	0,91	1,84
	$DB_p = 0,23107 + 0,61005*Db_{dap}$	0,65	3,58
	$DB_p = 0,03356 + 0,94299*DB_{2m}$	0,91	1,85
	$DB_p = 0,07089 + 0,86828*DB_{3m}$	0,83	2,50
	$DB_p = 0,05304 + 0,88961*DB_{4m}$	0,85	2,31
	$DB_p = 0,02322 + 0,94078*DB_{5m}$	0,89	1,99
	$DB_p = 0,01813 + 0,95158*DB_{6m}$	0,90	1,96
	$DB_p = 0,2361 + 0,42465*DB_{1m} - 0,0660/DB_{3m} + 0,3658*DB_{6m}$	0,97	0,92

Já a amostra coletada a partir do DAP foi a que apresentou menor correlação para se estimar a densidade básica da árvore, além de uma boa distribuição de resíduo (Figura 12). Este mesmo comportamento foi também observado por Campos, Silva e Vital (1992), ao estudar eucalipto de grande porte. Estes mesmos autores encontraram que a densidade básica da madeira estimada de amostras retiradas ao longo do tronco é mais eficaz para se estimar peso seco.

Já Valeri, Aguiar e Banzato (1990) trabalhando com eucalipto e Vale, Martins e Araújo (1992) com duas espécies do cerrado (*Vochysia thirsoidea* Pohl e *Pterodon pubescens* Benth), encontraram que a densidade básica no DAP estima bem a densidade básica da árvore, sendo desta maneira representativa para converter volume em peso seco.

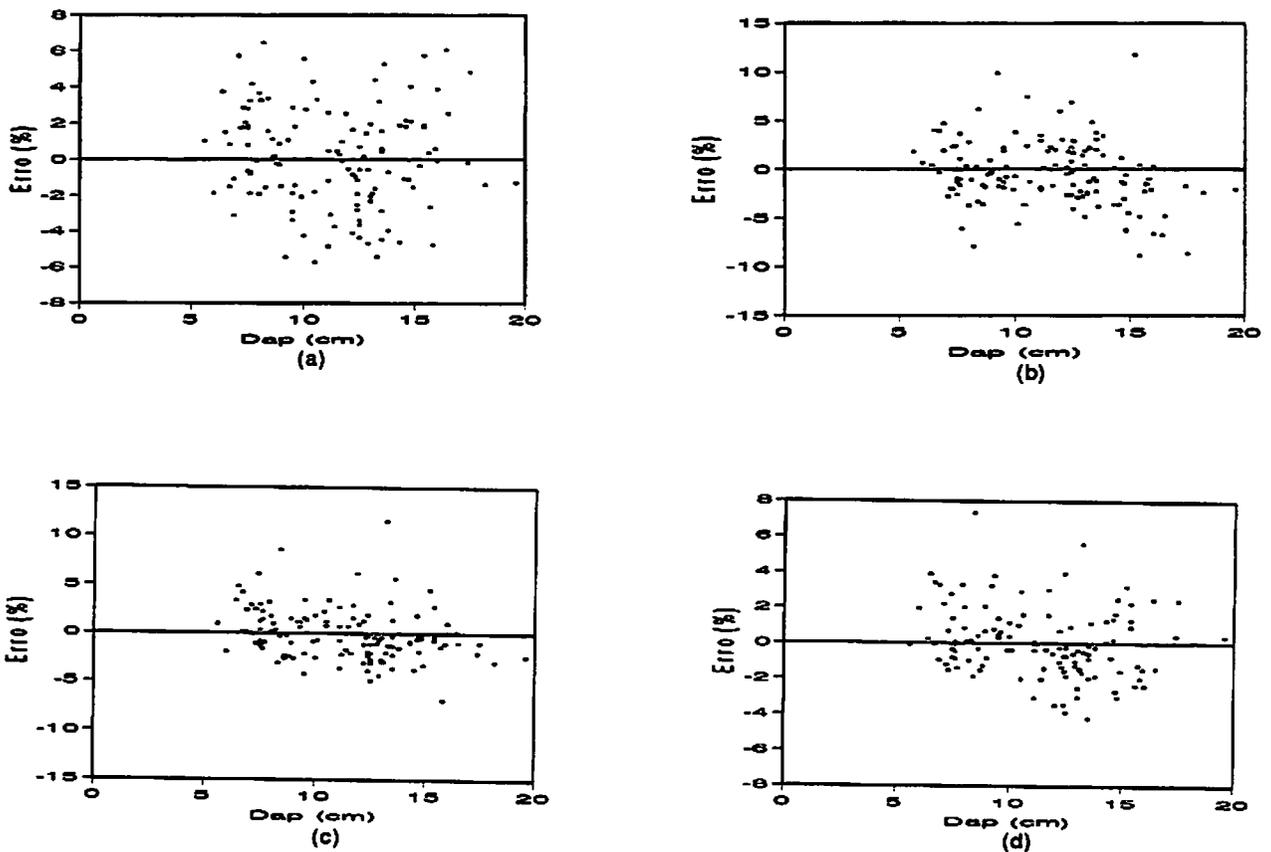


FIGURA 5: Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para base (a), para 1 m (b), para o DAP (c) e para altura de 2 metros (d)

As equações que estimam a densidade básica a partir de amostra coletada a 3 e 4 m de altura foram as que apresentaram as piores performance para estimativa da densidade básica da

árvore, apresentando menor R^2 e maior Syx, além de uma distribuição de resíduo tendenciosa, conforme pode-se observar na Figura 6.

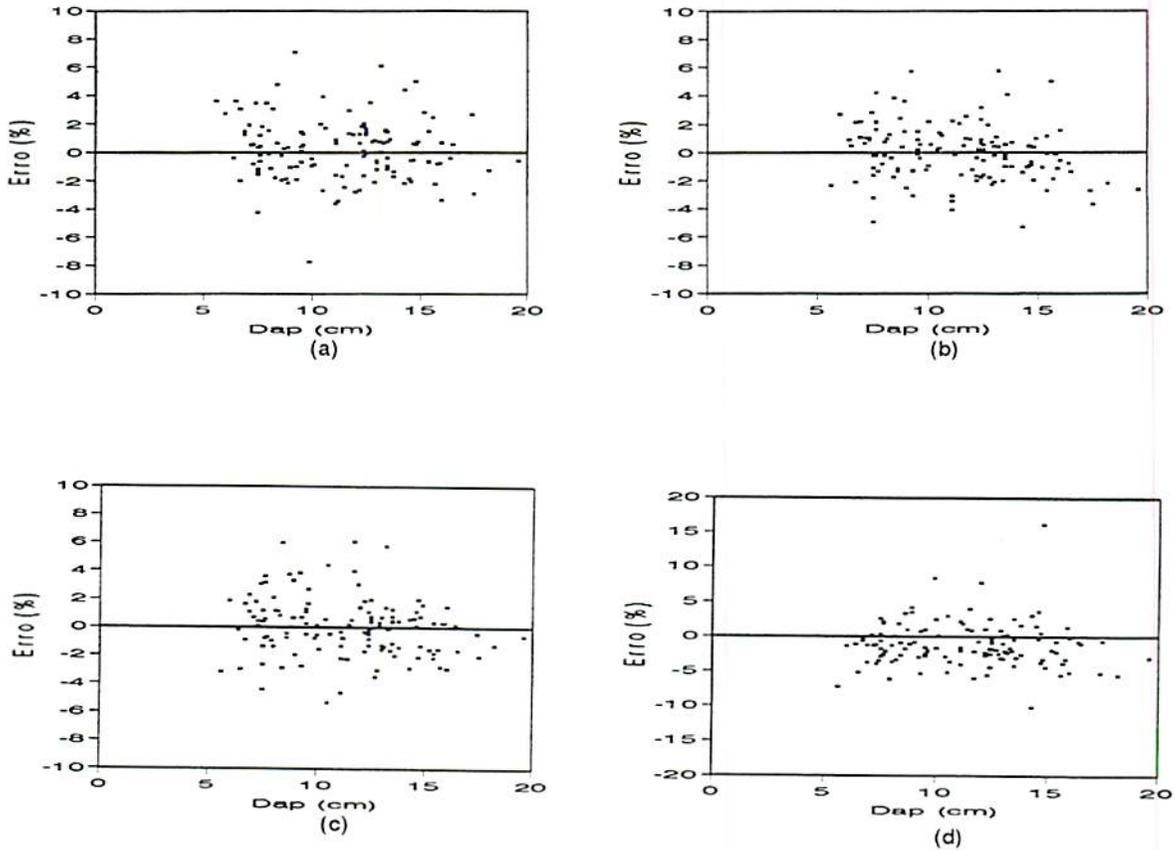


FIGURA 6: Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para 3 m (a), para 4 m (b), para 5 m (c) e para altura de 6 metros (d)

Quando optou-se por ajustar um modelo com mais de uma posição, o que melhor estimou a densidade básica da árvore foi aquele que tem como variáveis independentes as posições 1, 3 e 6m de altura apresentando um coeficiente de determinação (R^2) igual 0,97%,

erro padrão da estimativa igual 0,92% e uma distribuição de resíduo relativamente boa que pode ser vista na Figura 7.

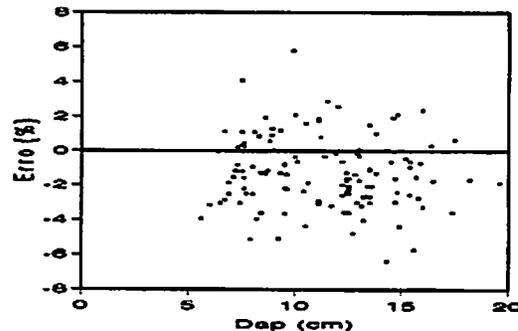


FIGURA 7: Distribuição gráfica dos resíduos para equações de densidade básica, para identificar a posição de coleta na árvore, para as posições de 1,3 e 6 metros

Para a população em estudo foi encontrado um valor da densidade básica ponderada das 127 árvores de *Eucalyptus camaldulensis* de $0,586 \text{ g/cm}^3$ ou 586 kg/m^3 de madeira seca.

Sobre o ponto de vista do comportamento da densidade básica no sentido base topo, foi observada uma tendência de aumento da densidade neste sentido, fato este que confronta com resultados encontrados por Franco (1992) estudando 3 clones de *E. saligna*. Mas que está de acordo com relatos feitos por Panshi e Zeuw (1970).

Já a abordagem da densidade básica em relação a idade não propiciou ajustes satisfatórios, embora tenha sido constatada uma tendência de aumento nesta com acréscimo da idade. Esta relação também foi observada por Ferreira, Freita e Ferreira (1979), Jesus e Ferreira (1986) e Trugilho, Lima e Mendes (1996), entre outros.

2.4 CONCLUSÃO

- A biomassa total e comercial, com e sem casca pode ser estimada com eficiência pela equação de dupla entrada, pela equação de dupla entrada associada à relação hipsométrica e pelo método dos dois diâmetros.
- O método da equação de simples entrada mostrou-se eficiente para estimar a biomassa total com e sem casca e a biomassa comercial sem casca.
- A estimativa da biomassa pode ser obtida a custos sensivelmente mais baixos e com a mesma eficiência que pelos métodos baseados em diâmetro e altura, quando faz-se uso do método dos dois diâmetros e da relação hipsométrica, associada a equação de dupla entrada.
- A densidade básica média para *Eucalyptus camaldulensis* foi de 586 Kg/m³.
Houve uma tendência de aumento no sentido base topo, e também aumento da densidade básica da madeira com aumento da idade.
- Se for desejado obter a densidade básica da árvore a partir de uma amostra, esta deve ser tomada a 1,0 metro de altura na árvore, para *Eucalyptus camaldulensis*.

CAPÍTULO 3

CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PROVENIENTES DE UM MODELO POLIMÓRFICO PELO MÉTODO DA DIFERENÇA ALGÉBRICA PARA *Eucalyptus camaldulensis*

3.1 INTRODUÇÃO

A viabilização de projetos florestais, a definição das práticas de manejo no povoamento florestal tais como: desbastá-lo ou não, definição do número, época e intensidade de desbastes, definição da rotação econômica ótima, definição de efetuar ou não a poda, definição da densidade inicial de plantio, definição dos níveis de adubação e a definição de práticas de conservação do solo, podem ser otimizados se conhecida a produtividade das propriedades florestais.

Várias alternativas podem ser utilizadas para obter a classificação da produtividade florestal, dentre as quais, os fatores edáficos, os fatores climáticos, os fatores fisiográficos, a vegetação, registros históricos, o multifatorial de sítio e os elementos dendrométricos (volume, área basal e altura).

O método mais universalmente aceito, por conjugar facilidade de implementação e eficiência, é o método de Índice de Sítio. Este método baseia-se na altura média das árvores dominantes. Os métodos mais tradicionais para definir árvores dominantes são: altura média aritmética das 100 árvores de maior diâmetro por hectare; média aritmética das alturas das

100 árvores mais altas por hectare; média aritmética das alturas das árvores com diâmetro superior a média aritmética dos diâmetros mais 1,5 desvio padrão; e média aritmética das alturas correspondente a média dos diâmetros das 20% árvores de maior diâmetro por hectare, definidos respectivamente por Assman, Hart, Naslund e Weise, conforme encontrado em Scolforo (1993).

Mais recentemente, utilizando o conceito de Assmann, os autores Bailey e Brooks (1994), definiram uma metodologia em que é possível determinar o índice de sítio, sem medidas de altura, nos inventários subsequentes. O princípio do método, consiste em medir a altura das árvores a partir daquela que apresenta maior diâmetro, de maneira sequencial, até ser detectada uma árvore com altura que corresponda a média das alturas das árvores já computadas. Determina-se então a sua posição percentual na distribuição diamétrica. Exemplificando, se esta posição é 56,5% então a árvore nesta posição é a árvore que apresenta a altura dominante. A operacionalização do procedimento foi viabilizado através do modelo $Hd = e^{\beta_0 + \beta_1 (D_{hd})^{-1}}$, em que:

$$\beta_0 = \alpha_0 + \alpha_1 \left[\frac{1}{N} \right] + \alpha_2 I; \text{ e } \beta_1 = \alpha_0 + \alpha_1 \left[\frac{1}{G} \right] + \alpha_2 \left[\frac{1}{N} \right], \text{ sendo } Hd = \text{altura}$$

média estimada das árvores dominantes; D_{hd} o diâmetro da árvore com altura dominante; G a área basal (m^2/ha); N o número de árvores por hectare; e I a idade do povoamento florestal.

A construção das curvas de índice de sítio pode ser obtida a partir do método da curva média, da diferença algébrica e predição de parâmetros, sendo que os dois últimos possibilitam a geração de curvas de sítio polimórficas. Neste último método o índice de sítio entra no modelo antes da estimativa dos parâmetros e estes dependem da idade de referência arbitrada.

Já o método da diferença algébrica, propicia gerar curvas de índice de sítio independente da fixação prévia de uma idade de referência. Desta maneira, a idade de referência pode ser mudada sem que haja necessidade de um novo ajuste da equação. Outro fato ainda mais relevante é que em povoamentos com rotação curta, nem sempre são disponíveis várias remedições das parcelas do inventário. Se os anéis de crescimento da espécie em questão não são visíveis, então não é possível reconstituir o desenvolvimento da altura da árvore nas diferentes idades. Desta forma o método de predição dos parâmetros não é possível de ser adotado.

Uma série de estudos sobre a metodologia da diferença algébrica vem sendo desenvolvidos, desde sua apresentação por Bailey e Clutter (1974). Pode-se citar, dentre outros, Borders, Bailey e Ware (1984), Gonzalez, Smith e Maldonado (1992), Newton (1992), Maldonado, Bailey, Borders (1987), Cao e Durand (1991), Goelz (1992), Hacker, Bilan (1991).

No Brasil uma série de estudos fizeram uso deste método, para gerar curvas de índice de sítio anamórfica, como Scolforo (1990, 1992) que comprovou a eficiência do método na confecção de Índice de Sítio para *Pinus caribaea* var *hondurensis*, no Estado de São Paulo. Campos et al (1991) utilizaram do mesmo método para gerar curvas de índice de locais para *Eucalyptus camaldulensis*, em plantações localizadas no Estado de Minas Gerais. Maestri, Scolforo e Hosokawa (1995) o utilizou para gerar curvas de sítio para *Acacia meanassii* no estado do Rio Grande do Sul, Cunha Neto (1994) e Cunha Neto et al; (1996) o utilizaram para gerar curvas de índice de sítio para *E. grandis* e *E. urophylla*, no estado de São Paulo.

Os objetivos deste trabalho são: desenvolver e/ou apresentar a forma polimórfica e anamórfica para gerar curvas de índice de sítio, daqueles modelos mais tradicionalmente

utilizados na literatura florestal; e testar o seu desempenho para gerar curvas de sítio anamórficas e polimórficas pelo método da diferença algébrica.

3.2 MATERIAL E MÉTODO

3.2.1 Caracterização da Área

O estudo foi realizado em um maciço florestal de *Eucalyptus camaldulensis* localizado na Fazenda Patagônia no Município de João Pinheiro (MG) pertencente a MANNESMANN FLORESTAL LTDA conforme pode-se visualizar na Figura 1,.

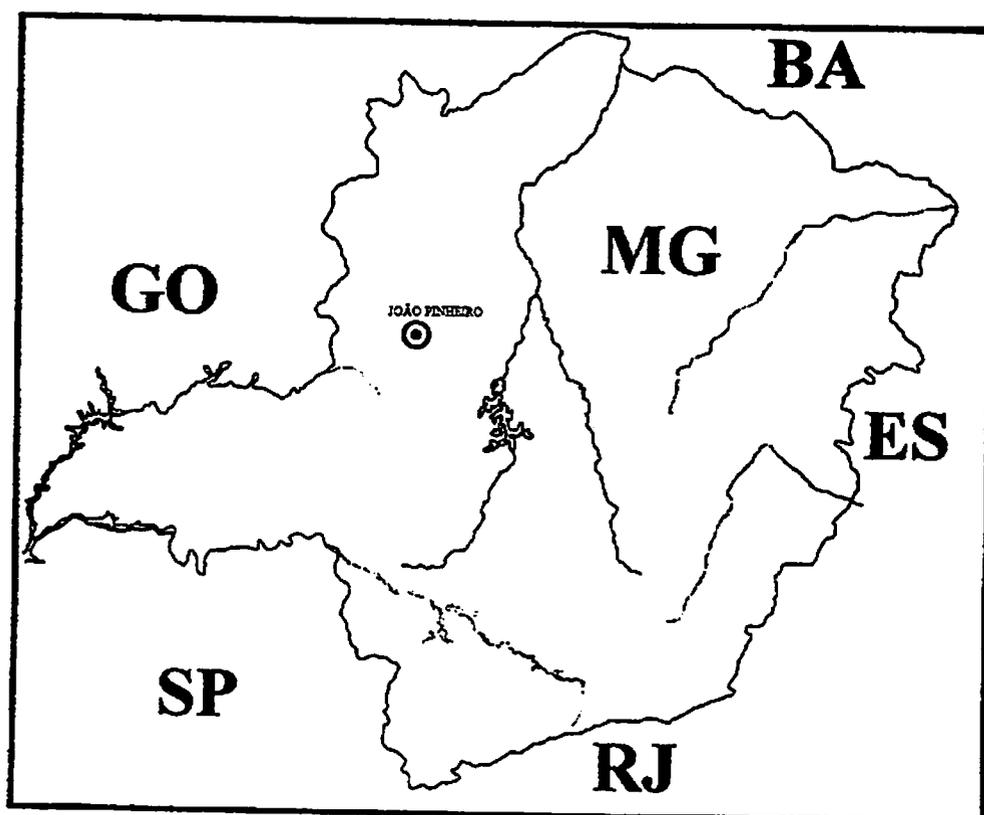


FIGURA 1: Área de realização do estudo

De acordo com Golfari (1975), a cidade de João Pinheiro esta localizada na região bioclimática 7, no setor oeste e norte da Serra do Espinhaço, a uma altitude entre 600m a 1000m, compreendendo chapadões baixos e colinas com relevo ondulado suave, a ondulado forte. O clima é subtropical úmido e subúmido. A temperatura média anual varia de 19° a 22°C. A região apresenta evapotranspiração potencial anual entre 900 a 1100mm. Os solos são predominantemente luvisolos férricos, ferrassolos ácidos e arenossolos ferrálicos, e a vegetação original é de cerrado com diferentes tipologias.

3.2.2 Levantamento dos dados

Foram utilizadas 170 parcelas estando incluso neste total até 4 medições. O espaçamento por ocasião do plantio foi de 3 x 2,5 m, as idades por ocasião das medições variaram de 14 a 65 meses.

O número de medições efetuadas em cada parcela variou com o ano de plantio. Plantios de 1989 contribuíram com quatro medições, os de 1990 com três e os de 1991 com duas medições, para fins da construção das curvas de índice de sítio.

A base de dados utilizada neste estudo apresentou-se dispersa conforme ilustrado na Tabela 1.

TABELA 1: Distribuição das parcelas por classe de sítio para *Eucalyptus camaldulensis*

CLASSES DE IDADE (meses)	ÍNDICE DE SÍTIO (m)			TOTAL
	22,5	19,5	16,5	
14 — 26	02	28	06	36
27 — 39	02	38	09	49
40 — 52	02	41	10	53
53 — 65.1	02	24	06	32
TOTAL	08	131	31	170

3.2.3 Método da Diferença Algébrica

O método da diferença algébrica, objeto de estudo deste capítulo, foi proposto inicialmente por Bailey e Clutter (1974) para desenvolvimento de curvas de índice de sítio anamórficas ou polimórficas, invariantes em relação a idade de referência. Este método faz uso de pares de medidas consecutivas da variável a ser estimada.

Considerando o modelo $\ln H = \alpha + \beta I^{-1}$ (1), sua taxa de crescimento em altura é $(\delta H / \delta I) = -H (\beta / I^2)$; a qual é função do parâmetro β e da idade, mas não envolve o parâmetro α . Se α é constante sobre os sítios mas β é um parâmetro específico do sítio, ou seja, tem diferentes valores β_i , então tem-se um conjunto de curvas altura-idade polimórficas. Se é assumido que α é o parâmetro específico do sítio e β é constante para todos os sítios, então curvas anamórficas serão geradas.

Para gerar curvas anamórficas e polimórficas será utilizado o modelo (1), em sua forma não linear.

1º Caso: Polimorfismo das curvas

Para efeito demonstrativo considere uma árvore num sítio específico i , nas idades sucessivas I_1 e I_2 . Assim o modelo assume a seguinte forma:

$$H_1 = \beta_o e^{-\beta_i (1/I_1)} \quad H_2 = \beta_o e^{-\beta_i (1/I_2)}$$

onde:

H_1 e H_2 : respectivamente alturas da primeira e segunda medições, nas idades I_1 e I_2 .

β_o : é o parâmetro comum relativo aos sítios.

β_i : parâmetro específico para o sítio i .

Isolando β_i em cada expressão, tem-se que : $(H_1/\beta_o)^{I_1} = e^{-\beta_i}$: e $(H_2/\beta_o)^{I_2} = e^{-\beta_i}$.

Igualando os termos β_i e resolvendo a igualdade em relação a H_2 tem-se:

$H_2 = \beta_o(H_1/\beta_o)^{(I_1/I_2)}$, que é a forma de ajuste para gerar curvas polimórficas.

Efetuada-se um rearranjo nesta expressão tem-se esta, em função do índice de sítio (S).

Para tal basta considerar H_2 como sendo igual a S e I_2 a idade de referência.

$$S = \beta_o (H_1/\beta_o)^{(I_1/I_{ref})}$$

2º Caso: Anamorfismo das curvas

Assumindo-se agora que “ β_o ” está no lugar do parâmetro “específico de sítio” sendo “ β_1 ” constante para todos os sítios, então, ao contrário do caso 1 tem-se curvas anamórficas. Assim considerando a mesma situação mostrada no caso 1, tem-se:

$$H_1 = \beta_{oi} e^{-\beta_1(I_{1i})} : H_2 = \beta_{oi} e^{-\beta_1(I_{2i})}$$

onde:

β_{oi} = é o parâmetro específico para o sítio i

β_1 = parâmetro comum a todos os sítios.

Isolando as expressões em relação a “ β_{oi} ”, igualando-as e resolvendo esta igualdade em relação a H_2 tem-se que:

$$H_2 = H_1 e^{\beta_1[(I_{1i}) - (I_{2i})]}$$

Um rearranjo da expressão anterior, semelhante ao já descrito no caso 1, fornece a equação que expressa o índice de sítio (S).

$$S = H_1 e^{\beta_1[(I_{1i}) - (I_{ref})]}$$

3.2.3.1 Modelos Testados

Cinco modelos foram testados para ajustar os pares altura-idade.

1 . Schumacher 1

$$H = \beta_0 e^{\beta_1(1/I)} \quad (2)$$

2 . Chapman-Richards (1961)

$$H = \beta_0 [1 - e^{\beta_1 I}]^{\beta_2} \quad (3)$$

3 . Schumacher 2

$$\text{Ln}H = \beta_0 + \beta_1 (1/I)^{\beta_2} \quad (4)$$

4 . Bailey com três parâmetros (1980)

$$H = \beta_0 (1 - e^{\beta_1 I^{\beta_2}}) \quad (5)$$

5 . Bailey com quatro parâmetros (1980)

$$H = \beta_0 (1 - e^{\beta_1 I^{\beta_2}})^{\beta_3} \quad (6)$$

em que,

H = altura média das árvores de maior diâmetro/ha

I = idade do povoamento

e = base do logaritmo natural

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros a serem estimados.

3.2.3.2 Desenvolvimento e/ou Apresentação da Formulação da Diferença Algébrica

Os modelos (2), (3), (4), (5) e (6) foram manipulados para dar a forma da diferença algébrica para curvas anamórficas e polimórficas da seguinte maneira:

Modelo de Schumacher 1:

$$H = \beta_0 e^{\beta_1 (1/I)}$$

a) Formulação anamórfica ou forma comum:

Se “ β_0 ” é o parâmetro específico para o sítio e “ β_1 ” é comum a todos os sítios, então para qualquer par (H_i, I_i) resolvendo para “ β_0 ”, tem-se:

$$\beta_0 = H_i e^{-\beta_1 (1/I)}$$

Para qualquer dois pares (H_1, I_1, H_2, I_2) observados no mesmo indivíduo tem-se:

$$H_2 = H_1 \exp \{ \beta_1 [(1/I_2) - (1/I_1)] \} \quad (7)$$

b) Formulação polimórfica ou de intersepto comum:

Considerando “ β_1 ” o parâmetro específico do sítio, então todos os sítios terão mesmo intersepto “ β_0 ”. Isolando “ β_1 ” tem-se:

$$e^{\beta_1} = \left(\frac{H_i}{\beta_0} \right)^{I_i}, \text{ logaritmando a expressão tem-se:}$$

$$\beta_1 = I_i \ln \left(\frac{H_i}{\beta_0} \right)$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = \beta_0 (H_1/\beta_0)^{(I_1/I_2)} \quad (8)$$

Modelo Chapman e Richards:

$$H = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I})^{\beta_2}$$

a) Formulação anamórfica

Se “ β_0 ” é parâmetro específico do sítio, então “ β_1 ” e “ β_2 ” são comuns para todos os sítios, e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i) tem-se:

$$\beta_0 = H_i / [1 - e^{-\beta_1 I_i}]^{\beta_2}$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = H_1 [(1 - e^{-\beta_1 I_2}) / (1 - e^{-\beta_1 I_1})]^{\beta_2} \quad (9)$$

b) Formulação polimórfica

Se “ β_2 ” é o parâmetro específico do sítio então “ β_0 ” e “ β_1 ” serão iguais para todos os sítios e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i) tem-se:

$$\beta_2 = \text{Ln} (H_i / \beta_0) / \text{Ln} (1 - e^{-\beta_1 I_i})$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = \beta_0 (H_1 / \beta_0)^{\ln [1 - \exp(-\beta_1 I_2)] / \ln [1 - \exp(-\beta_1 I_1)]} \quad (10)$$

Modelo de Schumacher 2:

$$\text{Ln}H = \beta_0 + \beta_1 (1/I)^{\beta_2} \quad \text{ou} \quad H = e^{\beta_0} * e^{\beta_1 (1/I)^{\beta_2}}$$

a) Formulação anamórfica

Se “ β_0 ” é o parâmetro específico do sítio então “ β_1 ” e “ β_2 ” são comuns a todos os sítios, e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i) tem-se:

$$e^{\beta_0} = H_i / e^{\beta_1 (1/I_i)^{\beta_2}}$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = H_1 / e^{\beta_1 (I_1^{-\beta_2} - I_2^{-\beta_2})} \quad (11)$$

b) Formulação polimórfica

Considerando “ β_1 ” o parâmetro específico do sítio, então todos os sítios terão mesmo valor de “ β_0 ” e “ β_2 ”. Isolando-se “ β_1 ” tem-se:

$$e^{\beta_1} = [(H_i / e^{\beta_0})^{\beta_2}]^{I_i}$$

Logaritmando a expressão tem-se

$$\beta_1 = I_i \ln (H_i / e^{\beta_0})^{\beta_2}$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = e^{\beta_0} (H_1 / e^{\beta_0})^{(I_1 / I_2) \beta_2} \quad (12)$$

Bailey Três Parâmetros:

$$H = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I^{\beta_2}})$$

a) Formulação anamórfica

Se “ β_0 ” é o parâmetro específico do sítio então “ β_1 ” e “ β_2 ” são comuns a todos os sítios, e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i) tem-se:

$$\beta_0 = H / (1 - e^{-\beta_1 I^{\beta_2}})$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = H_1 [(1 - e^{-\beta_1 I_2^{\beta_2}}) / (1 - e^{-\beta_1 I_1^{\beta_2}})] \quad (13)$$

b) Formulação Polimórfica:

Se β_2 é o parâmetro específico do sítio, então β_0 e β_1 são comuns a todos os sítios, dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever;

$$H_2 = \beta_0 \{ 1 - e^{\beta_1 [\ln(1 - (H_1 / \beta_0))]^{(I_2 / I_1)}} \} \quad (13A)$$

ou

$$H_2 = \beta_0 \left\{ 1 - e^{\beta_1 (1/\beta_1) \ln(1 - (H_1/\beta_0))} \right\}^{(\ln I_2 / \ln I_1)} \quad (13B)$$

Bailey Quatro Parâmetros:

$$H = \beta_0 (1 - e^{\beta_1 I^{\beta_2}})^{\beta_3}$$

a) Formulação anamórfica

Se “ β_0 ” é o parâmetro específico do sítio então “ β_1 ”, “ β_2 ” e “ β_3 ” são comuns a todos os sítios, e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i), tem-se:

$$\beta_0 = H / (1 - e^{\beta_1 I^{\beta_2}})^{\beta_3}$$

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = H_1 [(1 - e^{-\beta_1 I_2^{\beta_2}}) / (1 - e^{-\beta_1 I_1^{\beta_2}})]^{\beta_3} \quad (14)$$

b) Formulação polimórfica

Considerando o parâmetro específico do sítio, então “ β_0 ”, “ β_1 ” e “ β_2 ” serão iguais para todos os sítios e para qualquer par altura-idade (H_i, I_i), tem-se:

Para dois pares observados no mesmo indivíduo (H_1, I_1, H_2, I_2) pode-se escrever:

$$H_2 = \beta_0 (H_1/\beta_0)^{\ln(1 - e^{\beta_1 I_2^{\beta_2}}) / \ln(1 - e^{\beta_1 I_1^{\beta_2}})} \quad (15)$$

Clutter e Jones

a) Formulação Polimórfica

Neste caso se fará uso do modelo baseado em Clutter e Jones (1980), versão proveniente de Lenhart's (1970) que apresentou modelo polimórfico para crescimento em altura. A forma do modelo de produção em altura é:

$$\text{Ln}H_2 = \frac{\beta_2}{I_2} - \beta_3 + [\text{Ln} H_1 - \frac{\beta_2}{I_1} + \beta_3] \cdot e^{\beta_1[(1/I_1) - (1/I_2)]} \quad (16)$$

Schumacher 2 logaritmizado

b) Formulação Polimórfica

Neste caso a opção é utilizar o modelo de Schumacher 2 em sua forma polimórfica (modelo 12), após logaritimizá-lo.

$$\text{Ln}(H_2) = \beta_0 + (\ln H_1 - \beta_0) \cdot \left[\frac{I_1}{I_2} \right]^{\beta_2} \quad (17)$$

DESEMPENHO DAS FUNÇÕES DE SÍTIO ANAMÓRFICAS E POLIMÓRFICAS

Para definir curvas de sítio anamórficas ou polimórficas considerou-se a estabilidade da classificação dos sítios.

Uma parcela é considerada estável, se após classificada em um sítio, permanecer nele por toda sua vida. Este fato é constatado ou não ao enquadrar a média aritmética das alturas das árvores dominantes entre os limites inferior e superior da classe de sítio gerada por cada uma das equações testadas. Utilizou-se para tal as remeidições efetuadas nas parcelas que compõem o inventário florestal contínuo.

Foram consideradas separadamente as 4 medições efetuadas no povoamento de *Eucalyptus camaldulensis* plantado em 1989, as 3 medições efetuadas no plantio de 1990 e as 2 medições efetuadas no plantio de 1991. Foi também efetuado o agrupamento de todas as três situações consideradas anteriormente.

Obteve-se então um escore para cada equação, o que juntamente com a distribuição gráfica dos resíduos, do coeficiente de determinação (R^2) e do erro padrão residual (S_{yx}),

possibilitaram definir a escolha da equação de melhor ajuste para proporcionar a classificação dos sítios.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 encontram-se, os parâmetros estimados, os coeficientes de determinação (R^2), o erro padrão da média em metro (Syx) e o erro padrão em percentagem (Syx%) das equações, que possibilitaram traçar a família de curvas anamórficas. Como pode ser observado a equação de Bailey com quatro parâmetros é a que tem o melhor ajuste, apresentando coeficiente de determinação (R^2) igual a 89,3% e erro padrão residual igual a 5,7%. As distribuições gráficas dos resíduos para estas equações podem ser visualizados na Figura 2.

TABELA 2: Parâmetros estimados e medidas de precisão dos ajustes anamórficos para estimativa de índice de sítio

Modelos	Parâmetros Estimados				R^2	Syx(m)	Syx%
	β_0	β_1	β_2	β_3			
7 SCHUMACHER-1	-18,78700				0,860	1,01951	6,48
9 CHAPMAN-RICHARD	0,04178	1,40079			0,887	0,92042	5,85
11 SCHUMACHER-2	-11,26370	0,74903			0,876	0,96164	6,11
13 BAILEY-3	0,01502	1,24372			0,890	0,90553	5,76
14 BAILEY-4	0,000947	1,91645	0,53376		0,893	0,89966	5,72

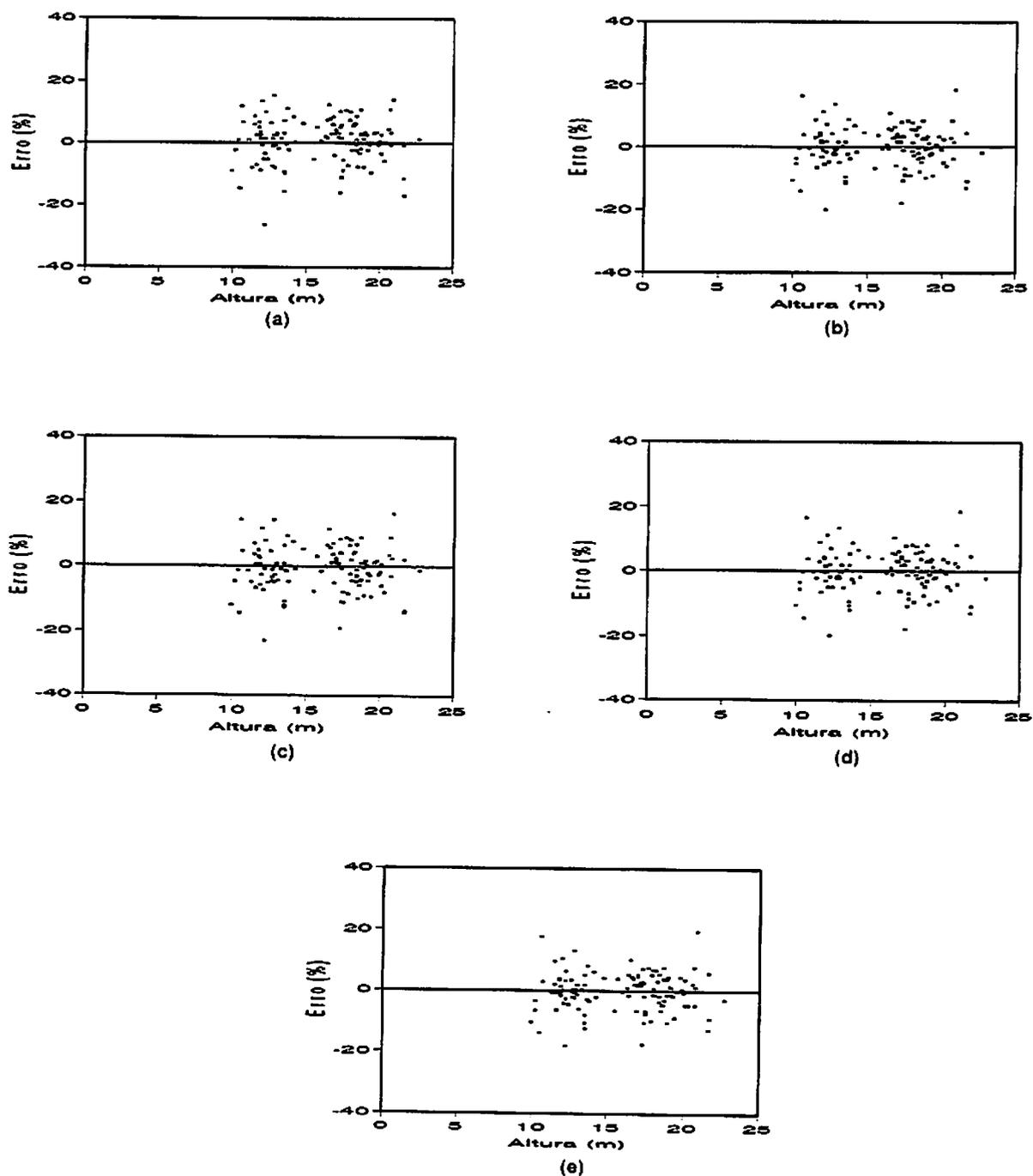


FIGURA 2: Distribuição gráfica dos resíduos para as equações de sítio anamórficas: Schumacher-1 (a), Chapman-Richards (b), Scumacher-2 (c), Bailey-3 (d) e Bailey-4 (e)

Na Tabela 3 encontra-se, os parâmetros estimados, os coeficientes de determinação (R^2), o erro padrão da média em metro (Syx) e o erro padrão em porcentagem (Syx%) das equações para se traçar a família de curvas polimórficas. Como pode ser observado, a

equação de Schumacher-2 é a que teve melhor estatísticas para as medidas de precisão apresentando coeficiente de determinação (R^2) igual a 88,6% e erro padrão residual (Syx%) igual a 5,87%. A distribuição gráfica dos resíduos para esta equação pode ser visualizada na Figura 3.

TABELA 3: Ajustes de curvas polimórficas para estimativa de índice de sítio

Modelos	Parâmetros Estimados				R^2	Syx	Syx%
	β_0	β_1	β_2	β_3			
8 SCHUMACHER-1	25,38259	-	-	-	0,877	0,9555	6,08
10 CHAPMAN-RICHARDS	21,86580	0,034550	-	-	0,863	1,0091	6,42
12 SCHUMACHER-2	3,407910		0,78852600	-	0,886	0,9230	5,87
15 BAILEY-4	28,60707	-10,513670	0,0645469		0,883	0,9304	5,92
16 CLUTTER e JONES	-	5,751324	-0,7942846	0,74789	0,877	0,0635	4,04*
17 SCHUMACHER Logaritimizada	3,45250		0,7429779	-	0,873	0,0641	4,08*

*Valores obtidos a partir do Syx logaritimizados

A confirmação da equação apropriada para possibilitar a classificação de sítio anamórfica ou polimórfica foi efetivada a partir da constatação da maior estabilidade na classificação dos sítios.

Nas Tabelas 4, 5, 6 apresentam-se respectivamente os escores correspondentes ao número de vezes que cada parcela flutuou de 1 classe de sítio para outra. Foram considerados os plantios de 1989 no qual foram realizados 4 medições; no plantio de 1990 no qual foram realizados 3 medições; e o plantio de 1991 no qual foram realizados 2 medições. Um exemplo para uma das vinte parcelas do plantio de 1989, sobre como identificar a estabilidade da classificação dos sítios é apresentada a seguir para todas as equações geradas em todas as 4 medições efetuadas.

Parcela	Id (meses)	Hd (m)	Equações										
			7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	29	11,9	3	2	3	3	3	2	3	3	2	2	2
1	40	14,6	3	2	3	3	2	2	3	3	2	2	2
1	52	16,7	3	2	3	2	2	2	3	3	2	2	2
1	64	18,4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Id = Idade (meses)

Hd = Altura média das árvores dominantes (m)

2 = Sítio classe II

3 = Sítio classe III

Observe por exemplo que a função de Schumacher 1 anamórfica (7) apresentou mudança de sítio 1 vez. Já a função de Schumacher 2 polimórfica não apresentou mudança de classe de sítio para esta parcela, o que indica estabilidade da classificação de sítio.

Já na Tabela 7 é apresentada a soma dos escores correspondentes ao plantio de 1989, 1990 e 1991 considerados nas Tabelas 4, 5, 6.

A equação de Schumacher-2 (12) polimórfica apresentou como resultado da análise dos escores por idade de plantio a seguinte estabilidade nas parcelas: para plantio de 1989 uma estabilidade total em 17 parcelas (85% do total), flutuação uma vez em 1 parcelas ou (5%) e flutuação e duas vezes em 2 parcela (10%). As parcelas do plantio de 1990 apresentaram uma estabilidade total em 6 parcelas (55% do total) e parcelas do plantio de 1991 apresentaram uma estabilidade total em 19 parcelas ou em 100% das parcelas. Ao juntar-se todas as parcelas em todas as idades de plantio, a estabilidade total ocorreu em 42 parcelas (84%). Somente 3 parcelas (10%) flutuaram de classe de sítio uma única vez e 5 parcelas (6%) flutuaram de classe de sítio duas vezes. Esta estabilidade é desejável já que possibilita que a prognose da produção seja feita com alta confiabilidade.

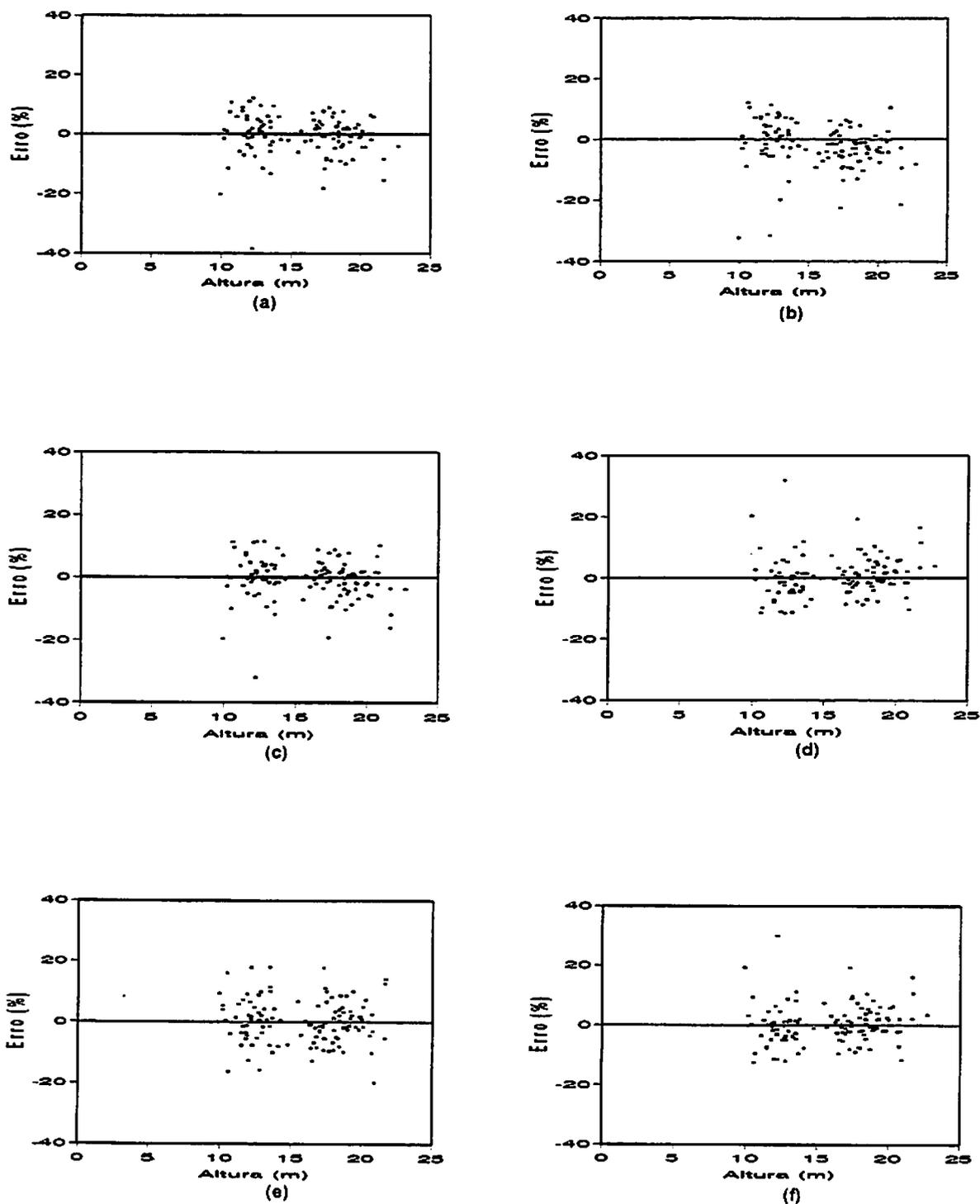


FIGURA 3: Distribuição gráfica dos resíduos para equações de sítio polimórficas: Schumacher-1 (a), Chapman-Richards (b), Scumacher-2 (c), Bailey-4 (d), Clutter polimórfica (e) e Schumacher logarítmica (f)

TABELA 4: Resultados de escores anamórficos e polimórficos de 20 parcelas na idade de plantio 1989 das equações ajustadas.

Número da flutuação de uma classe de sítio para outra	Equações										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	5	13	10	12	12	17	11	11	15	9	16
1	14	5	7	4	6	2	7	9	3	7	3
2	1	2	3	4	2	1	2	-	2	4	1

0, 1 e 2 é o número de vezes que a parcela mudou de sítio

TABELA 5: Resultados de escores anamórficos e polimórficos de 11 parcelas na idade de plantio 1990 das equações ajustadas.

Número da flutuação de uma classe de sítio para outra	Equações										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	5	7	5	5	4	6	5	5	5	3	6
1	4	-	5	6	6	3	5	4	4	6	3
2	2	4	1	-	1	2	1	2	2	2	2

0, 1 e 2 é o número de vezes que a parcela mudou de sítio

TABELA 6: Resultados de escores anamórficos e polimórficos de 19 parcelas na idade de plantio 1991 das equações ajustadas.

Número da flutuação de uma classe de sítio para outra	Equações										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	15	15	11	13	10	19	11	13	18	19	19
1	4	4	8	6	9	-	8	6	1	-	-

0 e 1 é o número de vezes que a parcela mudou de sítio

TABELA 7: Resultados de escores anamórficos e polimórficos das equações ajustadas para 50 parcelas na idade de plantio 1989.

Número da flutuação de uma classe de sítio para outra	Equações										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	25	35	26	30	26	42	26	29	38	31	41
1	22	9	20	16	21	5	21	19	8	13	6
2	3	4	4	4	3	3	3	2	4	6	3

0, 1 e 2 é o número de vezes que a parcela mudou de sítio

Após análise dos escores que expressam a estabilidade das curvas de sítio, das medidas de precisão, coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa em metro (Sy_x) e erro padrão da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$) foi escolhida a equação de Schumacher-2 polimórfica (12) por ter apresentado a melhor performance entre todas as 11 equações apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

Na Tabela 8 e Figura 4 são apresentados, respectivamente, os limites inferior e superior da altura média das árvores dominantes de cada uma das 3 classe de sítio, definidas assim como uma ilustração gráfica destes limites para a idade de referência de 64 meses. Utilizando-se as próprias parcelas do inventário, que deram origem a equação que definiu os limites inferior e superior de cada classe pode-se agora definir de maneira geral os níveis de produtividade da propriedade florestal. Naturalmente que quanto maior a amostragem e a representatividade das parcelas a nível do talhão, menos genérica será a definição dos níveis de produtividade da propriedade florestal.

TABELA 8: Representação dos limites inferiores e superiores da equação de Schumacher-2 polimórfica.

IDADE (meses)	CLASSES DE SÍTIO					
	I		II		III	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS
12	2,2	4,4	4,4	7,7	7,7	12,8
14	3,0	5,4	5,4	9,1	9,1	14,1
16	3,7	6,4	6,4	10,2	10,2	15,2
18	4,5	7,4	7,4	11,2	11,2	16,2
20	5,2	8,3	8,3	12,2	12,2	17,0
22	6,0	9,1	9,1	13,0	13,0	17,7
24	6,6	9,8	9,8	13,7	13,7	18,4
26	7,3	10,5	10,5	14,4	14,4	18,9
28	7,9	11,2	11,2	15,0	15,0	19,4
30	8,5	11,8	11,8	15,6	15,6	19,9
32	9,0	12,4	12,4	16,1	16,1	20,3
34	9,5	12,9	12,9	16,6	16,6	20,7
36	10,0	13,4	13,4	17,0	17,0	21,0
38	10,5	13,8	13,8	17,5	17,5	21,4
40	11,0	14,3	14,3	17,8	17,8	21,6
42	11,4	14,7	14,7	18,2	18,2	21,9
44	11,8	15,1	15,1	18,5	18,5	22,2
46	12,2	15,4	15,4	18,8	18,8	22,4
48	12,6	15,8	15,8	19,1	19,1	22,6
50	12,9	16,1	16,1	19,4	19,4	22,8
52	13,2	16,4	16,4	19,7	19,7	23,0
54	13,6	16,7	16,7	19,9	19,9	23,2
56	13,9	17,0	17,0	20,2	20,2	23,4
58	14,2	17,3	17,3	20,4	20,4	23,6
60	14,5	17,5	17,5	20,6	20,6	23,7
62	14,7	17,8	17,8	20,8	20,8	23,9
64	15,0	18,0	18,0	21,0	21,0	24,0
66	15,3	18,2	18,2	21,2	21,2	24,1
68	15,5	18,4	18,4	21,4	21,4	24,3
70	15,7	18,6	18,6	21,5	21,5	24,4
72	16,0	18,8	18,8	21,7	21,7	24,5
74	16,2	19,0	19,0	21,8	21,8	24,6
76	16,4	19,2	19,2	22,0	22,0	24,7
78	16,6	19,4	19,4	22,1	22,1	24,8
80	16,8	19,6	19,6	22,3	22,3	24,9
82	17,0	19,7	19,7	22,4	22,4	25,0
84	17,2	19,9	19,9	22,5	22,5	25,1

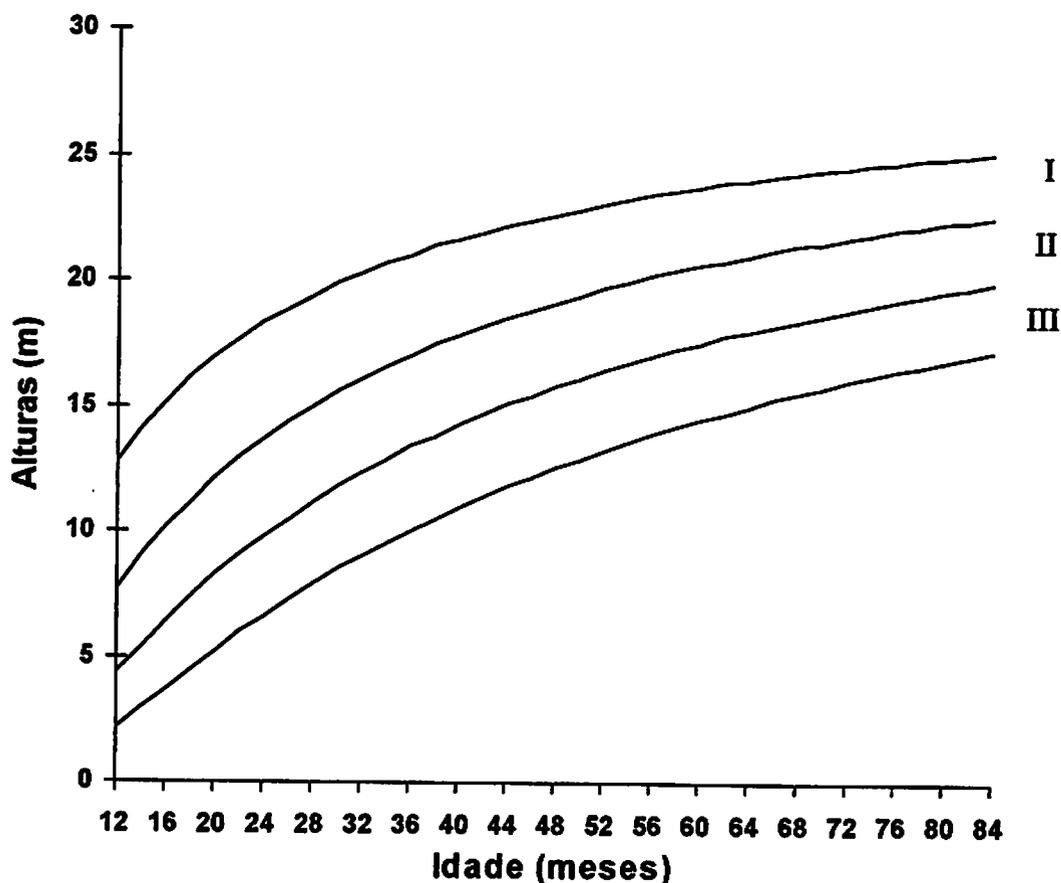


FIGURA 4: Limites das curvas de índice de sítio polimórficas para *Eucalyptus camaldulensis*

3.4. CONCLUSÃO

- O desenvolvimento da altura média das árvores dominantes dos plantios de *Eucalyptus camaldulensis* na região de Patagônia, Noroeste de MG, segue um padrão polimórfico,
- O desenvolvimento de classificações de sítio através do método da diferença algébrica é extremamente eficiente, sendo que o modelo selecionado, apresentou em 84% das parcelas uma estabilidade total da classificação de sítio,

- O desenvolvimento de formas de ajuste polimórfica é possível, eficiente e factível, O

modelo selecionado $H_2 = e^{3,40791} \left[\frac{H_1}{e^{3,40791}} \right]^{(t_1/t_2)^{0,788526}}$, apresentou desempenho muito

satisfatório em sua forma polimórfica, podendo ser utilizado para plantações de *Eucalyptus camaldulensis* em áreas semelhantes a deste estudo e com combinações similares de fatores de sítio e constituição genética,

- A formulação ajustada por meio de regressão linear utilizando-se as expressões (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (13A), (14), (15), (16) e (17) apresentadas e/ou desenvolvidas, como no caso de Bailey 3 e 4 parâmetros, ao longo deste trabalho, apresentaram-se eficientes para fins de classificação de sítios florestais,

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALFARO, L.G.J; PAULA NETO, F.DE, REZENDE; J.L.P. DE; BANDEIRA, H. DE L. Curvas de crescimento dos eucaliptais em Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 10, n.2, p. 135-150. jul-dez 1986.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRACAVE. Belo Horizonte: ABRACAVE, 1995.p..18.
- ARABATZIS, A.A.; BURKHART, H.E. An evaluation of sampling wethods and model forms for estimating height-diameter relationship in *lobbolly Pine* plantations. *Forest Science*, Washington, v.38, n.1,p.192-198, Feb 1992.
- BAILEY,R.L.; BROOKS, F. Determining site index and estimating timber volumes without measuring heigts. *Journal of applied forestry*, v.18, n.1,p.15-18, Feb 1994.
- BAILEY, R.L.; CLUTTER,J.L. Base-age invariant polymorphyc site curves. *Forest Science*. Washigton, v.20, n.2. p.155-159,1974.
- BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L.; WARE, K.D. Slash Pine site index from a pymorphic model by joining (splining) non-polynominal segments with and algebraic differnce method. *Forest Science*. Washigton, v.30, n.2. p.411-423, 1984.
- BRASIL, M.A.M.; VEIGA, R.A. de A.; TIMONI, J.L. Erros na determinação da densidade básica da madeira. *Cerne*. Lavras, v.1, n.1.p.55-57,1994.
- CAMPOS, J.C. CHAGAS; LEITE, H.G.; SOUZA, R.N. de; VITAL, B.R. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. *Revista Árvore*, Viçosa, v.14, n.2. p.119-133, jul. - dez. 1990.
- CAMPOS, J.C.C.; SILVA, J.A. da; VITAL, B.R. Volume e biomassa do tronco e da copa de eucalipto de grande porte. *Revista Árvore*, Viçosa, v.16, n.3 . p.319-336, set. - dez.1992.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G.; LELIS, V.G. dos S. *Classificação da capacidade produtiva de Eucalyptus camaldulensis*, na região de João Pinheiro, em Minas Gerais. Viçosa: SIF, 1991. 77p. (Boletim Técnico).

- CAO, Q.V.; DURAND, K.M. Site index curves for estern cottonwood platations in the lower Mississipi Delta. *South Journal Applied Forestry*. v.15, n.1. p.28-30, 1991.
- > CARDOSO, D.J. Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões central e sudoeste do Estado do Paraná. *Floresta, FUPEFE*, Curitiba, v.20, n.1-2. p.1-118, 1990.
- COUTO, H.T.Z. do; BASTOS, N.L.M. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. *IPEF*, Piracicaba, n.37. p.33-39, dez. 1987.
- CUNHA NETO, F.R. da; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; CALEGÁRIO, N.; KANEGAE JÚNIOR, H. Uso da diferença algébrica para construção de curvas de índice de sítio para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* na região de Luís Antônio - SP. *Cerne*. Lavras, v.2, n.2. p.140-155, dez 1995.
- CUNHA NETO, F.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; CALEGÁRIO, N.; KANEGAE JÚNIOR, H. Modelo para produção por classe de diâmetro para *Eucalyptus grandis*. *Cerne*. Lavras, v.1, n.1. p.108-122, 1994.
- FERREIRA, C.A.; FREITA, M. de; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucalipto, na região de Mogi-Guaçu, São Paulo. *IPEF*, Piracicaba, n.18. p.106-117, jun. 1979.
- FINKE HERRERA, M.E.; **Densidade básica e equações de peso de madeira de povoamentos de eucaliptos de acordo com a idade, local, espécie e método de regeneração.** Viçosa: UFV, 1989. 113p. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais).
- FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: Sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. *Anais...*: Campos do Jordão: SBS-SBEF, 1990. p.719-728.
- FRANCO, E.J. **Variação da densidade básica da madeira de três clones de *Eucalyptus saligna* Smith em função da altura aos 30, 36 e 42 meses de idade.** UFLA, Lavras, 1992. 16p. (Monografia).
- GARCIA LEITE, H; GUIMARÃES, D.P.; CAMPOS, J.C. CHAGAS Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. *Revista Árvore*, Viçosa, v.19, n.1. p.65-79, jan. - mar. 1995.
- GOELZ, J.C.G.; BURK, T.E. Development of a well-behaved site index equations Jack Pine in north central Ontário. Canadá. *Journal Forestry Research*. Canadá. v.22. p.776-784, 1992.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento.** PRODEPEF, 1975. p.65 (Série Técnica, 3).

- GONZALEZ, A.M.; SMITH, D.M.; MALDONADO, H.R. Site index for *Pinus caribaea* var. *hondurensis* in 'La Sabana', Oaxaca, México. **Commonwealth Forestry Review**, v.71, n.1, 1992.
- HACKER, W.D.; BILAN, M.V. Site index curves for *Loblolly* and *Slash Pine* plantations in the Post Oak Belt of east Texas. **South Journal Applied Forestry**. v.15, n.2. p.97-100, 1991.
- JESUS, R.M.; FERREIRA, M. Comparação entre densidade de matrizes e de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1. p.82-90, jun. 1986.
- LAPPI, J. Calibration of height and volume equations with random parameters. **Forest Science**, Washington, v.37, n.3. p.781-801, Aug. 1991.
- MAESTRI, R.; SCOLFORO, J.R.S.; HOSOKAWA, R.T. Um sistema de predição do crescimento e da produção para povoamento de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild). **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.3. p.358-381, jul. - set. 1995.
- MAESTRI, R.; SCOLFORO, J.R.S.; HOSOKAWA, R.T. Um sistema de predição do crescimento e da produção para povoamento de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild). **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.3. p.358-381, jul. - set. 1995.
- MALDONADO, H.R.; BAILEY, R.L.; BRODERS, B.E. Some implications of the algebraic difference approach for developing growth models. Minneapolis: IUFRO. p.24-28, Aug. 1987.
- NEWTON, P.F. Base-age invariant polymorphic site index curves for Black spruce and Balsam fir within central Newfoundland. **North. Journal Applied Forestry**. v.9, n.1. p.18-22, 1992.
- OUELLET, D.; UNG, CHHUN-HUOR. Stande volume tables: Application to black spruce stands of lebbel-Sur-Quévillon. **The Forestry Chronicle**, Canadá, v.67, n.6. p.712-715, Dec. 1991.
- PAULA NETO, F. de; REZENDE, A.V. Equações de fatores de empilhamento e tabelas de volume em metros estere para árvores individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.1. p.72-87, jan. - abr. 1992.
- PANSHIN, A.J.; ZEEWN, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1970, v.1, 705p.
- PIMENTEL GOMES, F. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Potafos: Piracicaba, 1984.
- ROSOT, M.A.D. Estudo comparativo de método para a avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda* L. Curitiba: UFPr, 1989. 99p. (Tese de Mestrado em Ciências Florestais).
- SCHNEIDER, P.R.; GRILLO ELESBÃO; L.E. Tabela de volume com e sem casca para *Pinus elliottii* Engelm, da região do litoral do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4, Belo Horizonte, 1982. **Anais...**: Belo Horizonte: SBS, 1982.



- SCOLFORO, J.R.S. **Mensuração florestal - Volumetria** Lavras: FAEPE, 1993a. 126p. (Série Técnica).
- SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M. de; ALMEIDA LIMA, C.S. de **Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana.** *Cerne*, Lavras, v.1, n.1. p.123-134, 1994.
- SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção com otimização de remuneração de capital.** *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Curitiba: UFPr., 1990. 200p. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais).
- SHIMOYAMA, V.R. de S. **V-ariação da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 93p. (Tese de Mestrado em Ciências Florestais).
- SILVA, J.A. **Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamento de *Eucalyptus* spp nos cerrados em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.** Curitiba: UFPr., 1979. (Tese de Mestrado em Ciências Florestais).
- SILVA, J.A. da **Estimativas de volume do tronco e da copa, densidade básica, fator de empilhamento de madeira serrada de eucalipto.** Viçosa, UFV, 1991a. 93p. (Tese de Mestrado em Ciências Florestais).
- SILVA, J.A.A. da, BORDERS, B.E. A tree volume equation based on two lower stem diameters for loblolly Pine in tree southeastern United States. **Southen. Journal of Applied Forestry.** v.17, n.4. p.160-162, Nov. 1993.
- SILVA, J.A.A. da; MACHADO, S.A.; BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L. Uma nova metodologia para construção de tabelas volumétricas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO,1, e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO,7, Curitiba, 1993. **Anais...:** Curitiba: SBS-SBEF, 1993. p.557-559.
- SOUZA, A.L. de; JESUS, R.M. de **Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na Reserva Florestal da Companhia Vale do Rio Doce.** Linhares, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.3. p.257-273, set. - dez. 1991.
- TRUGILHO, P.F.; SILVA, D.A. da; FRAZÃO, F.J.L.; REGAZZI, A.F. **Caracterização de espécies nativas e exóticas amazônicas e do carvão vegetal.** **Revista Árvore**, Viçosa, v.15, n.2. p.144-157, mai. - ago. 1991.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES, L.M. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*.** *Cerne* Lavras, v.2, n.1. p.94-116, 1996.
- VALE, T. do; MARTINS, I.S.; ARAÚJO, W.L. de O. **Estudo da densidade de três espécies do cerrado.** **Revista Árvore**, Viçosa, v.16, n.2. p.209-217, mai. - ago. 1992.

VALERI, S.V.; AGUIAR, I.B.; BANZATTO, D.A. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex- Maiden com a altura do caule e aplicação de fósforo e calcário dolomítico. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO,6, Campos do Jordão, 1990. Anais...: Campos do Jordão: SBS, 1990..