

LUDMILA PROFUMO AGUIAR

MODELAGEM DO VOLUME DO POVOAMENTO DA
***Mimosa scabrella* Benth EM BRACATINGAIS NATIVOS DA**
REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado.

Co-orientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho.
Prof. Dr. Henrique Soares Koehler.

CURITIBA

2006

TERMO DE APROVAÇÃO



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa nº. 647

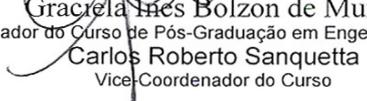
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Ludmila Profumo Aguiar* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**MODELAGEM DO VOLUME DO POVOAMENTO DA *Mimosa scabrella Benth* EM BRACATINGAIS NATIVOS**", é de parecer favorável à APROVAÇÃO do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.


Dr. Edilson Batista de Oliveira
Embrapa/Florestas
Primeiro-examinador


Dr. Nelson Carlos Rosot
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 02 de março de 2006.


Graciela Ines Bolzon de Muniz
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Carlos Roberto Sanquetta
Vice-Coodenador do Curso

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná
Tel: (41) 360-4212 - Fax: (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>



Aos meus pais Nina e José Antonio, que me deram as asas.

Aos meus irmãos Liliana e Orlando, sempre incondicionais.

Especialmente ao meu marido Gonzalo e ao meu filho Nahuel.

Porque com vocês tudo faz sentido.

Dedico

BIOGRAFIA

Ludmila Profumo Aguiar nasceu em Rivera, Uruguai, no dia 08 de janeiro de 1975. É filha de Deolinda Aguiar Nieves e de José Antonio Profumo Ocaño.

Iniciou o ensino fundamental em 1980 na Escola Pública N° 109 concluindo o segundo grau em 1992 no Liceu N°1 Dra. Célia Pomoli, em Rivera.

Em 1993 ingressou no curso de Agronomia da Universidade da República – UDELAR.

Realizou o primeiro estágio em setembro de 1997, no programa de extensão "Prado Guiado", por convenio da Universidade com a Associação Rural do Uruguai, tendo como objetivo aproximar os estudantes da cidade, de primeiro e segundo grau, à realidade agropecuária.

Realizou o segundo estágio, de janeiro a dezembro de 1998, pelo Departamento Florestal da Faculdade de Agronomia por convênio com a Prefeitura Municipal de Montevideú, e com a colaboração do Museu e Jardim Botânico Municipal, conformando a equipe que fez o censo do patrimônio vegetal da cidade.

Formou-se em Abril de 1999, com a monografia intitulada “Caracterização fitossociológica de um bosque de quebrada sobre o “Arroio do Potreiro” - Coxilha Negra, Rivera”.

Em julho de 1999 começou a trabalhar na consultora VALORA no setor florestal. Participou em 2003 na elaboração da publicação “Estudo da evolução do valor da terra rural no Uruguai período 1997-2003”, por convenio com o Instituto Nacional de Colonização.

Entre julho de 2001 e fevereiro de 2002 trabalhou na empresa Florestadora e Madeireira do Norte S.A. – FYMNSA no setor de manejo de povoamentos de *Pinus* para serraria. Posteriormente, no final do período realizou o plano de manejo da área de conservação de floresta nativa, orientado à obtenção do selo de certificação FSC.

Em março de 2004 iniciou o mestrado em Engenharia Florestal na Área de Concentração de Manejo Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná - UFPR.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Sebastião do Amaral Machado pela sábia orientação, confiança e paciência em mim depositadas e principalmente por todas as horas dedicadas ao propósito de me tornar uma melhor pessoa, obrigada.

Aos co-orientadores Prof. Henrique Soares Koehler e Prof. Afonso Figueiredo Filho pelo grande apoio e contribuição ao trabalho, sempre realizados com paciência e bom humor.

Ao Celso Paulo de Azevedo pela amizade e pela ajuda tão valiosa.

Aos professores que brindaram seu apoio e boas idéias em diversas oportunidades Franklin Galvão, Gustavo Curcio, Graciela Inés Bolson, Roberto Hosokawa, Carlos Roderjan, Yoshiko S. Kuniyoshi, Nelson Rosot, Julio E. Arce, e a Omar Ferreira Copes. Aos funcionários da secretaria da Pós-Graduação e da Biblioteca da Floresta pela boa disposição e apoio em inúmeras oportunidades.

A Carolina Weigert Galvão pela pronta e desinteressada colaboração.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, pela concessão da bolsa de estudos. Ao professor Nivaldo Rizzi e a Jussara do Rego Elias da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG da UFPR.

Aos colegas que finalmente tornaram-se amigos, Román Ríos, Flora Osaki e à sua família, Ana Paula Dâlla Corte, Daniel Queiroz, José E. Ibarra, Artur L. Machado, Mauricio Scheer, Marguit Hauer, Carina Kozera, Wagner Corrêa, Marcos Alves, Murilo Barddal, Annete Bonnet, Rodrigo Kersten, Nardia Bulfe, Alexandre Beutling e a Hugo Rivera, novamente pela amizade e pelas interessantes discussões, desejando que elas continuem.

Aos colegas da equipe de trabalho do projeto “...bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba”, Marco Aurélio Figura, Edilson Urbano, Saulo Jorge Téó e Luis César Rodrigues da Silva, pela grande ajuda e convívio durante este período.

Aos produtores e empresas de Região Metropolitana que cederam gentilmente seus bracatingais para que pudéssemos trabalhar.

À minha professora de português Yasna Garcia da Rosa, quem me iniciou nos labirintos gramaticais e ortográficos desta língua tão bela.

Aos meus pais e irmãos, especialmente pelas ausências, a Beatriz Fernández por estar sempre presente e aos meus sogros, Esmeralda e Carlos cujo apoio foi muito importante. A Gonzalo porque continuamos sendo muito mais que dois e a Nahuel pela felicidade da vida.

MUITO OBRIGADO!!!

“Não sei o que o mundo opina de mim; mas sinto-me como um menino que brinca à beira do mar e se diverte descobrindo de vez em quando uma pedra mais lisa ou uma concha mais bela que o comum, enquanto isso o grande oceano da verdade estende-se perante mim, todo ele por descobrir”.

ISAAC NEWTON.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ANEXOS.....	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 A BRACATINGA.....	5
2.2 A BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.....	7
2.3 EQUAÇÕES DE VOLUME DO POVOAMENTO	10
2.3.1 Variáveis Independentes.....	19
2.3.1.1 Relação com o volume do povoamento.....	19
2.3.1.2 Correlações com o volume por unidade de área.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2 ORIGEM DOS DADOS – UNIDADES AMOSTRAIS	26
3.2.1 Base de dados TONON (1998).....	27
3.2.2 Coleta de Dados das Parcelas Temporárias	28
3.2.3 Estimativa do Volume Individual da Bracatinga.....	28
3.2.4 Estimativa do Volume do Povoamento	29
3.2.5 Classificação de Sítio da Bracatinga.....	29
3.2.6 Base de Dados Final.....	30
3.2.6.1 Análise exploratória dos dados – detecção de dados discrepantes	31
3.2.6.2 Dados utilizados na caracterização quantitativa dos povoamentos.....	31
3.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES.....	32
3.3.1 Construção da Matriz	32
3.3.2 Seleção das Variáveis Independentes	33
3.4 INTENSIDADE AMOSTRAL.....	33

3.5	MODELOS DE VOLUME DO POVOAMENTO TRADICIONAIS	34
3.6	MODELOS GERADOS PELO PROCESSO <i>STEPWISE</i>	35
3.7	FATOR DE CORREÇÃO PARA A DISCREPÂNCIA LOGARÍTMICA.....	36
3.8	SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO	37
3.8.1	Coeficiente de Determinação Ajustado	38
3.8.2	Erro Padrão da Estimativa.....	39
3.8.3	Análise Gráfica dos Resíduos.....	40
3.8.4	Teste F.....	40
3.9	VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1	SUFICIÊNCIA AMOSTRAL.....	42
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DOS POVOAMENTOS	44
4.2.1	Descritores Gerais	44
4.2.2	Análise Exploratória dos Dados	49
4.3	MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES.....	50
4.4	AJUSTE DE MODELOS TRADICIONAIS	56
4.4.1	Modelos Aritméticos e Semi-logarítmicos.....	56
4.4.2	Modelos Logarítmicos	62
4.5	AJUSTE PELO PROCESSO <i>STEPWISE</i>	66
4.5.1	Modelos Aritméticos e Semi-logarítmicos.....	66
4.5.2	Modelos Logarítmicos	74
4.6	SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO	80
4.7	VALIDAÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO.....	81
4.7.1	Validação Pelo Teste Qui-quadrado.....	81
4.7.2	Validação Pela Análise Gráfica de Resíduos.....	82
4.7.3	Validação Pelo Erro Padrão da Estimativa	83
5	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS	87
	ANEXOS	92

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	LISTA DE UNIDADES AMOSTRAIS POR IDADE.....	30
TABELA 2 -	VARIÁVEIS INDEPENDENTES GERADAS	32
TABELA 3 -	MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS SELECIONADOS PARA ESTIMAR O VOLUME DO POVOAMENTO COM CASCA.....	34
TABELA 4 -	MODELOS LOGARÍTMICOS SELECIONADOS PARA ESTIMAR O VOLUME DO POVOAMENTO COM CASCA.....	35
TABELA 5 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E SUFICIÊNCIA AMOSTRAL PARA SEIS VARIÁVEIS ESTRUTURAIS.....	43
TABELA 6 -	MEDIAS POR IDADE (ANOS) DAS VARIÁVEIS ESTRUTURAIS PARA TODAS AS UNIDADES AMOSTRAIS SEM DISTINÇÃO DE CLASSE DE SÍTIO.....	45
TABELA 7 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA O NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	46
TABELA 8 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO MÉDIO, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	46
TABELA 9 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA TOTAL MÉDIA, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	47
TABELA 10 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA DOMINANTE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	47
TABELA 11 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA O VOLUME TOTAL PARA LENHA, COM CASCA, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	48
TABELA 12 -	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL AREA BASAL POR HECTARE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.....	48
TABELA 13 -	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES DE TODAS AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM A VARIÁVEL DEPENDENTE (V) VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha).....	51
TABELA 14 -	COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES DE TODAS AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM A VARIÁVEL DEPENDENTE ln(V) LOGARITMO NEPERIANO DO VOLUME TOTAL, C/C POR HECTARE (m ³ /ha).....	52
TABELA 15 -	EQUAÇÕES ARITMÉTICAS E SEMI-LOGARÍTMICAS AJUSTADAS, COM SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL, COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha).....	57
TABELA 16 -	EQUAÇÕES LOGARITMICAS AJUSTADAS COM SUAS REPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL, COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha).....	62
TABELA 17 -	COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS ARITMETICOS E SEMI- LOGARÍTMICOS, GERADOS EM CADA PASSO PELO MÉTODO STEPWISE.....	69

TABELA 18 – COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS EM CADA PASSO, PELO MÉTODO STEPWISE.	76
TABELA 19 – RESUMO DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS EM CADA ETAPA, CLASSIFICADAS EM ORDEM DECRESCENTE PELO $S_{yx}\%$	80
TABELA 20 – SIGNIFICÂNCIA DO QUI-QUADRADO CALCULADO, PARA AS EQUAÇÕES SENDO VALIDADAS.	82
TABELA 21 – INDICADORES DE PRECISÃO PARA AS DUAS EQUAÇÕES VALIDADAS.	84

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – ESTADO DO PARANÁ, COM A LOCALIZAÇÃO DOS 14 MUNICÍPIOS ONDE FORAM MENSURADOS BRACATINGAS NATIVOS.	26
FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO POR CLASSE DE IDADE.	44
FIGURA 3 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL POR HECTARE EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS ÁREA BASAL, ÁREA BASAL COM A ALTURA TOTAL MÉDIA E ÁREA BASAL COM A ALTURA DOMINANTE.	53
FIGURA 4 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL, COM CASCA POR HECTARE EM RELAÇÃO À ALTURA TOTAL MÉDIA E À ALTURA DOMINANTE.	54
FIGURA 5 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE EM RELAÇÃO AO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO MÉDIO E AO DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO.	55
FIGURA 6 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL POR HECTARE EM RELAÇÃO À IDADE E AO NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE.	56
FIGURA 7 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS AJUSTADOS: M1 A M8.	60
FIGURA 8 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS AJUSTADOS: M9 A M12 E SEMI-LOGARÍTMICOS: M13 A M16.	61
FIGURA 9 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS AJUSTADOS: M1 A M8.	64
FIGURA 10 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS AJUSTADOS: M9 A M13.	65
FIGURA 11 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M1 A M8.	71

FIGURA 12 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M9 A M16.....	72
FIGURA 13 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M15 A M20.....	73
FIGURA 14 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M1 A M8.....	78
FIGURA 15 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PERCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m ³ /ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M9 A M16.....	79
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO PRECENTUAL DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO, EM FUNÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA, PARA AS EQUAÇÕES SENDO VALIDADAS.	82
FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM VALORES ABSOLUTOS (m ³ /ha) PARA AS DUAS EQUAÇÕES USADAS NA VALIDAÇÃO.....	83

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – MUNICIPIOS DA R.M.C. ONDE FORAM COLETADOS OS DADOS, COM SUAS RESPECTIVAS SUPERFICIES, ALTUTIDES E COORDENADAS GEOGRÁFICAS, DAS SEDES DOS MUNICÍPIOS.....	93
ANEXO II – VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO, POR IDADE (ANOS) INDEPENDENTEMENTE DO SÍTIO.....	94
ANEXO III – MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES	95
ANEXO IV – PARCELAS EXCLUÍDAS	99
ANEXO V – BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO	100
ANEXO VI – BASE DE DADOS UTILIZADA NA VALIDAÇÃO.....	105

RESUMO

O objetivo principal da presente pesquisa foi modelar o volume total com casca da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth), usando equações de volume do povoamento. Coletaram-se dados em bracatingais nativos de 14 municípios da Região Metropolitana de Curitiba (R.M.C.), Estado do Paraná – Brasil. Utilizou-se uma base de dados preliminar com 241 unidades amostrais. Em cada unidade amostral de 100 a 400 m², foram medidos para todas as bracatingas o diâmetro à altura do peito e a altura total, em bracatingais de 3 a 18 anos de idade. Construiu-se a base de dados definitiva com as variáveis: volume total com casca por hectare, área basal por hectare, número de árvores por hectare, idade do povoamento, altura total média, altura dominante, diâmetro à altura do peito médio, volume da árvore média, diâmetro médio quadrático e índice de sítio. Primeiramente as variáveis populacionais associadas com volume total foram caracterizadas quantitativamente em função da sua evolução temporal. Dessa forma os bracatingais nativos da R.M.C. se caracterizaram por uma intensa mortalidade na fase inicial, a qual repercutiu na área basal diminuindo sua expressão, apresentaram fustes de diâmetros reduzidos e acelerado crescimento em altura total. Numa etapa subsequente a taxa de mortalidade se estabilizou atingindo o máximo de produção aos 9 anos. Numa terceira etapa a taxa de mortalidade volta a sofrer incremento provocando a queda no volume. Concomitantemente, nesse mesmo período ocorre a estabilização no crescimento da altura, com poucos indivíduos que permanecem em pé, em torno de 5% do número de árvores inicial, os quais continuam crescendo em diâmetro. Para a estimativa do volume total com casca vários modelos de regressão selecionados da literatura foram testados. Gerou-se uma matriz com 58 variáveis independentes a partir de diversas combinações das variáveis na sua forma pura, assim como logaritmizações, inversos e potências para construir modelos por meio do processo *Stepwise* com o volume total com casca e o logaritmo neperiano do mesmo, como variáveis dependentes. As melhores equações foram validadas por meio do teste Qui-quadrado, da análise gráfica de resíduos, do erro padrão da estimativa, tanto absoluto, quanto relativo. Várias equações tiveram bom desempenho com valores de coeficiente de determinação ajustados superiores a 0,995, erro padrão da estimativa relativo inferior a 3%, valores de F altamente significativos ($p < 0,01$) e adequada distribuição de resíduos. As duas melhores equações foram validadas com valores de erro padrão da estimativa de 2,37% e 2,13 %, valor não significativo para o teste Qui-quadrado e equilibrada distribuição dos resíduos.

Palavras-chave: *Mimosa scabrella* Benth, Equações de Volume do Povoamento, Processo *Stepwise*, Validação de Modelos, Variáveis Dasométricas.

ABSTRACT

The main objective of this research was modelling the stand volume of *Mimosa scabrella* Benth (considering the bark) from Curitiba Metropolitan Region (C.M.R), Paraná State - Brazil. To reach this aim, a preliminary database composed by 241 permanent and temporary sample plots of 100 to 400 m² each one, from 14 Counties of the C.M.R, was utilized. In each sample plot, the diameter at breast height and the total height of all bracatinga trees from stands that presented 3 to 18 years old, were measured. A definitive database was constructed using the following variables: total volume per hectare, basal area per hectare, number of bracatinga trees per hectare, stand age, average total height, dominant height, average diameter at breast height, average tree volume, squared mean diameter, and site index. Firstly the stand variables associated with total volume were quantitatively characterized in function of its temporal evolution. In that way, the C.M.R. bracatinga stands characterizes by an intense mortality in its initial stages, with small stem diameters and fast height growth. In a subsequent period the mortality rate was stabilizing, reaching a maximum production at 9 years old. Finally, the mortality rate suffered another increment, causing total volume decreasing. At the same time, occurred the stabilization of height growth, with few individuals alive, approximately 5% of the initial number of trees, which continue growing in diameter. To estimate the total volume, selected regression models from the literature were tested. A set of 58 independent variables was generated also to construct models by the Stepwise process with the total volume and its logarithm as dependent variables. The best equations were validated by the Chi square tests (χ^2), by residual graphic analysis, by absolute and relative standard error of estimate. Many equations showed good performance, adjusted determination coefficient values higher than 0.995, relative standard error of estimate lower than 3%, F values highly significant ($p < 0,01$) and adequate residual distribution. The best two equations presented S_{yx} : 2.37% and S_{yx} : 2.13 %, not significant values for the χ^2 test and balanced distribution of the residuals.

Key-words: *Mimosa scabrella* Benth, Stand Volume Equations, *Stepwise* Process, Model Validation, Stand Variables.

1 INTRODUÇÃO

A variedade de usos que a bracatinga possui é indiscutível. Atualmente, na Região Metropolitana de Curitiba o uso mais relevante é a venda como toretes de 0,80 m de comprimento, para ser queimada como combustível em indústrias da região, principalmente para fornos de calcário.

Na cidade de Curitiba, a lenha também tem uso doméstico com aumento e diminuição muito relacionados com a oscilação do preço do gás de cozinha. Segundo um estudo realizado pelo Centro Brasileiro de Infra-Estrutura, entre os anos 2000 e 2005 "a participação do GLP na energia consumida nos lares brasileiros caiu de 31% para 27%, enquanto a da lenha subiu de 32% para 38%". Essas oscilações são sentidas pelas pessoas de Curitiba que comercializam lenha e pelos produtores de municípios da Região Metropolitana, onde a maior parte da lenha provém da bracatinga.

Dentro das utilizações como combustível, outra opção consiste na fabricação de carvão, apresentando ótimo desempenho. Caracterizando-se como uma espécie altamente potencial para utilizações energéticas por possuir densidade básica (entre 0,55 – 0,77 g/cm³), elevados teores de lignina e carbono fixo, e um rendimento de carvão de 28,2% (LISBÃO JR., 1981).

Considerando usos mais nobres e ainda menos explorados como a madeira serrada, por exemplo, a qual é empregada na construção civil para acabamentos internos e, principalmente, para compensados e caixotaria.

É bastante ornamental, principalmente quando em flor, por apresentar uma floração de cor amarela durante a época invernal coincidindo com uma estação onde há uma relativa ausência de cor na paisagem. Pode ser empregada com sucesso no paisagismo, principalmente na arborização de ruas estreitas, dado o seu tamanho reduzido, rusticidade e rápido crescimento inicial.

Caracteriza-se como uma opção importante para restauração em áreas degradadas de preservação permanente, em composições mistas, em função de ser pioneira de rápido crescimento e fixadora de nitrogênio, por meio da simbiose com uma espécie do gênero *Rhizobium*.

As flores são melíferas, gerando uma fonte de renda alternativa, além da madeira, que pode ser importante para os pequenos e médios produtores, possibilitando a manutenção das colméias durante o inverno. De acordo com PEGORARO e CARPANEZZI, (1995) a rentabilidade econômica dos sistemas de cultivo da bracatinga, em qualquer de suas variações, aumenta quando associada à atividade apícola na Região Metropolitana de Curitiba (R.M.C.). Como fonte de renda extra, incrementa significativamente a rentabilidade da exploração dos bracatingais, com uma estimativa de produção diária 120 kg/ha de mel, considerando que durante o período de floração a produção de mel diária varia entre 107 e 127,78 kg/ha.

Segundo PEGORARO e SILVA (1996) a bracatinga é considerada a espécie arbórea mais importante para apicultura na região de ocorrência natural da Floresta Ombrófila Mista, no inverno. Nesta época do ano, a espécie fornece néctar e pólen nos períodos da manhã e tarde, em pleno sol, garantindo o desenvolvimento das colônias, sem a necessidade de alimentação artificial. Dessa forma, as colônias chegam aptas para utilizar eficientemente a florada da primavera. A espécie foi classificada como um recurso do tipo nectaro-polinífero, com excelente valor apícola.

Historicamente, a bracatinga faz parte da economia dos pequenos proprietários da Região Metropolitana de Curitiba desde o início do século XX. O sistema de cultivo encontra-se caracterizado pela associação da cultura do milho e do feijão com a espécie florestal. O produtor subdivide a superfície disponível para o cultivo em talhões de área semelhante procurando ter uma colheita de madeira anual, induzindo assim que o número de subdivisões seja o mesmo que o período de rotação da bracatinga (ROCHADELLI, 1997).

Nos últimos trinta anos a superfície de bracatingais tem variado pouco. Sendo de 50 mil hectares segundo EMBRAPA (1988) no final da década de 80, em toda a Região Metropolitana de Curitiba. Aumentando para 60 mil hectares em meados da década de 90, (BAGGIO *et al.*, 1995; CARPANEZZI e CARPANEZZI, 1992).

Em resumo, a importância da bracatinga de acordo com BAREMBUEM (1988) se baseia em três características fundamentais, a indiscutível qualidade combustível de sua madeira, a excelente regeneração natural e as possibilidades de uso

dos diversos produtos, tanto madeiráveis quanto não madeiráveis gerados pelo bracatingal.

Para o planejamento de estratégias de desenvolvimento regional, se faz necessário conhecer as alternativas produtivas para testar a sua viabilidade econômica, ambiental e social. Em consequência as informações sobre o potencial produtivo desta espécie estão sendo geradas através de um projeto maior intitulado “Desenvolvimento de um complexo dendrométrico, biométrico e silvimétrico para bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba como base para o manejo florestal” coordenado pelo Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado, do qual este trabalho faz parte.

Para o manejo e principalmente para comercialização dos povoamentos é fundamental conhecer o volume de madeira sólida. Nesse sentido a utilidade mais importante das tabelas de volume do povoamento é a de simplificar as tarefas de cálculo do volume total em $m^3 \cdot ha^{-1}$, resultando em economia de tempo e redução de custos. Uma vez confeccionadas as tabelas para determinado local, pode-se obter o volume diretamente no campo, fazendo o cálculo da área basal, da altura total média e ou dominante segundo a equação, com uma calculadora portátil.

São necessárias equações de volume do povoamento para a construção das tabelas, ajustadas essas, a partir de modelos pré-existentes ou gerados por diferentes métodos. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos foram criados e testados para o ajuste de equações de volume do povoamento. Apesar de o uso ter consagrado alguns desses modelos, nenhum deles será sempre o de melhor desempenho para todas as espécies e condições. Por isto, é recomendável testar vários deles e por meio de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso (MACHADO *et al*, 2002).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo central da pesquisa consistiu em propor uma forma rápida, acurada e precisa, de obter o volume total com casca por hectare para lenha, de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) em bracatingais nativos, ou com manejo tradicional, localizados na Região Metropolitana de Curitiba.

Os objetivos específicos foram:

1. caracterizar quantitativamente, a evolução temporal, de variáveis populacionais relacionados ao volume total com casca, por hectare;

2. ajustar e testar vários modelos de regressão selecionados da literatura e elaborar modelos por meio do processo *Stepwise*, objetivando estimar o volume total com casca, para lenha, por hectare;

3. validar as melhores equações ajustadas para estimar o volume total com casca, para lenha, por hectare, da *Mimosa scabrella* em bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A BRACATINGA

Pertence à família Fabaceae Lindley, segundo a classificação do Angiosperm Phylogeny – APG (SPENCER, 2005), subfamília Mimosoideae, já CRONQUIST (1988) engloba o conjunto das subfamílias de Leguminosae nas famílias Mimosaceae, Caesalpiniaceae e Fabaceae (Papilionaceae), localizando-a dentro da família Mimosaceae, porém ENGLER (1964) a classifica dentro da família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, situação similar à atual. Havendo uma espécie e uma variedade botânica presentes na Região Metropolitana de Curitiba, sendo a espécie típica é *Mimosa scabrella* Benth e a variedade botânica *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa* (Hoehne) Burkart. Possui vários nomes comuns na região sul do Brasil, já os utilizados no Estado do Paraná são: bracatinga preta, bracatinga branca, bracatinga vermelha, bracatinga argentina e bracatinga comum (CARVALHO, 1994 e 2003).

A floração da *Mimosa scabrella* (bracatinga comum) ocorre entre junho/julho e setembro, enquanto que a da *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*, (bracatinga argentina), ocorre no período de outubro a janeiro, razão pela qual, não há cruzamento entre ambas variedades (BURKART, 1979; CARVALHO, 2003).

É uma árvore inerme, perenifólia, de rápido crescimento atingindo normalmente 20 m de altura, com registros de até 29 m, tronco alto quando crescendo em maciços e ou curto e ramificado quando isolada. Na idade adulta o diâmetro à altura do peito (d) alcança valores de 20 a 30 cm podendo chegar até os 50 cm ou mais. A bracatinga argentina atinge de 5 a 15 m de altura e 20 a 40 cm de diâmetro, podendo alcançar até 20 m de altura e 60 cm de diâmetro, na idade adulta, (REITZ, KLEIN e REIS, 1978; CARVALHO, 2003).

No Brasil está distribuída desde a latitude de 23°50'S até 29°40'S e longitudes de 48°50'W até 53°50'W (ROTTA e OLIVEIRA, 1981). Região de coordenadas geográficas que compreende o Estado de São Paulo numa pequena porção sul, os Estado do Paraná, Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul.

CARVALHO (2003) elaborou um mapa com base em vários autores onde menciona a ocorrência da bracatinga em uma distribuição ainda mais ampla, desde o Estado de Minas Gerais (21°30'S) até o Estado do Rio Grande do Sul (29°50'S). KLEIN (1981) confirma a ampla dispersão pela região sul do Brasil, ocupando grandes áreas do planalto meridional. A região de distribuição abarca, de forma natural, desde o sul do Estado de Minas Gerais ao leste do Estado de São Paulo, os três planaltos no do Estado do Paraná, todo o planalto catarinense e a parte nordeste do planalto do Estado do Rio Grande do Sul, em altitudes compreendidas entre 300 a 1800 metros sobre o nível do mar (m.s.n.m).

Fitoecologicamente, no Estado do Paraná acompanha de forma mais restrita à distribuição da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. – Floresta Ombrófila Mista, fundamentalmente na formação Montana, podendo ocorrer excepcionalmente nas formações Submontana e Altomontana. Ausente tanto na Floresta Estacional Semidecidual Tropical quanto na Subtropical do norte e oeste do Estado, assim como inexistente na Floresta Ombrófila Densa, mesmo que presente no ecótono desta última com a Ombrófila Mista, situação expressa na região do vale do Ribeira (INOUE *et al.*, 1984; IBGE, 1992).

Espécie heliófita, muito exigente quanto à intensidade de luz, comportando-se como pioneira na vegetação secundária, raramente é encontrada no interior de florestas primárias, ou mesmo em aquelas em que a extração madeireira teve caráter seletivo, sendo bastante indiferente quanto às condições físicas do solo. A alta concentração da espécie, na forma de maciços puros, ocorre como uma consequência da ação do homem e de fenômenos naturais com ocorrência de fogo (INOUE *et al.*, 1984; LORENZI, 2000).

As características da madeira da bracatinga coletada e analisada por oportunidade do projeto “Estudo das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná” resultaram nas seguintes conclusões: cerne pardo claro acinzentado com tonalidade rósea; albúrnio bege-claro, levemente rosado; grã direita; superfície moderadamente áspera, textura média; brilho pouco acentuado. A 12% de umidade apresentou peso específico em torno de $0,77 \text{ g.cm}^{-3}$; a retratibilidade é

relativamente alta e a resistência mecânica é média a alta. A madeira de bracatinga tem pequena durabilidade natural quando em contato com o solo e é de difícil permeabilidade a produtos preservantes (SUDESUL, 1979).

A espécie produz madeira classificada como pesada, de resistência mecânica média, difícil de cortar, mas fácil de aplainar ou lixar, donde se obtém superfície relativamente lisa. A madeira serrada é indicada para ser utilizada em construção civil leve ou pesada, marcenaria interior e exterior, construção interna, assoalhos e embalagens em geral. Durante a secagem artificial de tábuas foi definida como madeira com presença de colapso em todas as temperaturas aplicadas, deformações e rachaduras maiores, sugere-se assim a secagem a baixas temperaturas ou ao ar livre (SUDESUL, 1979).

2.2 A BRACATINGA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Os reflorestamentos com bracatinga em meados do século XX cobriam vastas áreas, principalmente a oeste, noroeste, bem como a nordeste da cidade de Curitiba. Formavam densas florestas muito uniformes quanto ao aspecto externo, representando um dos fatores mais importantes na fitofisionomia geral. Matas de bracatinga caracterizadas por estágios de desenvolvimento distintos, de acordo com a fase de crescimento das plantas de bracatinga. Estes estágios são acompanhados pela formação de uma submata, composta principalmente por espécies características do secundário, que variam conforme os estágios sucessionais. Antes que os estágios seguintes do secundário cheguem a competir, ela é derrubada e aproveitada (KLEIN e HATSCHBACK, 1962).

Um dos sistemas agroflorestais mais tradicionais no Sul do Brasil é o cultivo da bracatinga associada a culturas agrícolas no ano da implantação (EMBRAPA, 1988). Na década de 60 era usada em grande escala, para a produção de carvão vegetal consumido pelas indústrias locais. Grande parte era aproveitada como lenha, substituindo o óleo Diesel devido ao exorbitante custo deste último na época. Era ainda também muito grande o consumo de lenha em fogões domiciliares e começava a ser utilizada nas caldeiras (KLEIN e HATSCHBACK, 1962).

Como característica geral das propriedades tem-se que a atividade de exploração de bracatingais é feita em pequenas propriedades. Em amostragem realizada por BAGGIO *et al.* (1986) detectaram freqüências semelhantes, de 41%, para áreas menores de 20 ha e para aquelas entre 20-50 ha. Os 18% encontram-se entre 50-200 ha. Esse resultado evidencia a importância deste sistema de produção para o pequeno agricultor, pela facilidade de manejo e rentabilidade que oferece.

BAGGIO *et al.* (1986) constataram mediante a amostragem, que a exploração florestal não é a atividade principal da maioria dos colonos da região. Apenas 16% deles concentram-se no manejo de bracatingais, 79% dependem também da agricultura e 5% da atividade pecuária. Enfatizando enquanto à superfície de bracatingais nas propriedades, é mencionado que cerca de 70% dos proprietários possuem áreas menores que 10 hectares; 14% entre 10 e 20 hectares; 13% entre 20 e 50 hectares e 3% apenas, com áreas superiores a 50 hectares. Esses dados corroboram os anteriores, no sentido da tipificação do modelo de produção e dimensões dos sítios.

Para o estabelecimento de plantios novos, a grande maioria dos produtores usa o método da sementeira direta, poucos produzem mudas. No campo, após as mudas atingirem 5-10 cm, é feito um raleio nas covas, deixando-se apenas uma. A sobrevivência, em geral, é superior a 80%. Os espaçamentos utilizados no plantio direto variam desde 1m x 1m até 3m x 1m. Acredita-se que espaçamentos menores, com raleios posteriores, proporcionam uma floresta mais produtiva. Na sementeira a lanço, acompanhando o plantio de culturas agrícolas, o raleio é feito na ocasião das capinas. O espaçamento entre plantas mais usual, após o 1º ano de idade, situa-se entre 0,5 e 1,0m entre mudas, ou seja, de 10 a 40 mil plantas/ha. A distribuição espacial no terreno, após o raleio, é extremamente desuniforme, tanto entre como dentro das parcelas (BAGGIO *et al.*, 1986).

CAMPOS *et al.* (1986) mencionam que o número de árvores diminui anualmente, com maior mortalidade entre o 4º e 5º anos de idade. Considerando a pesquisa realizada por BAGGIO *et al.* (1986) a grande maioria dos produtores não raleia mais seus bracatingais, após o primeiro ano, deixando-os sofrer concorrência e seleção natural. Este abandono da floresta ao seu destino acarreta perdas de

produtividade. Quanto à idade se corta o bracatingal menciona-se entre quatro a dez anos. Com as maiores frequências entre os seis anos e os oito anos.

Uma questão importante, relacionada com este sistema de produção, diz respeito à exaustão da capacidade produtiva da terra, sendo o mesmo um sistema extrativista. Alguns resultados sugerem que o sistema tende a exaurir o solo, principalmente pela queima dos resíduos da exploração. Salientando que trata-se de um uso menos intensivo do que com culturas anuais ou pecuária (POGGIANI *et al.*, 1982; BAGGIO *et al.*, 1986).

Para a região em questão apresenta rápido crescimento, inclusive superior em algumas oportunidades ao rendimento de espécies comerciais como, por exemplo, o *Eucalyptus viminalis* Labill. Atinge incrementos médios anuais de 31 a 35 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 2 anos, com valores médios máximos de 36 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 4 anos, diminuindo para valores de 8 a 25 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 5 - 6 anos (CARVALHO, 1981; ARHENS, 1981; LISBÃO JR., 1981).

Segundo a amostragem feita por BAGGIO *et al.*, (1986) para a exploração existe uma marcada preferência pelo período outono/inverno, explicada pela sazonalidade das culturas agrícolas que são plantadas no início da primavera, quando também germinam as sementes de bracatinga. Quando o destino da madeira é para lenha essa fica, muitas vezes, empilhada durante meses no inverno, aguardando condições propícias de mercado. A madeira é traçada em toretes que variam de 0,8 a 1,20m de comprimento, e no caso de produção de estacas para construção, os comprimentos mais usuais são 3, 6 e 7 m.

O plantio de culturas agrícolas nas áreas de bracatingais, após a exploração e queima dos resíduos, é prática usual, porém não generalizada dependendo do tipo de proprietário e da qualidade do sítio. As formas de utilização do sistema no primeiro ano do bracatingal são quatro. A maioria são proprietários que cultivam sua área, alguns arrendam suas terras para terceiros, outros contratam o serviço de terceiros, pagando em porcentagem e, por último, alguns emprestam o sítio sem cobrar nada. Ao final do inverno, os agricultores preparam as áreas exploradas para o plantio das culturas agrícolas. Nessa ocasião, os resíduos da exploração já estão secos, facilitando

a queima. A queima, que estimula a germinação da bracatinga, é aconselhada para o período após a primeira quinzena de setembro, para que as plântulas não sofram queima com as geadas, coincidindo também com o início da safra agrícola. O milho é a cultura mais utilizada neste sistema sendo geralmente associada com o feijão. O cultivo da abóbora e da mandioca dentro das áreas de bracatinga com regeneração, é pouco utilizado. Embora com pouca frequência, utilizam-se os bracatingais para introduzir gado, a partir do segundo ano de idade da floresta. Esta prática é mais intensa no período do inverno, objetivando-se dar alimento e proteção ao gado, quando os pastos desprotegidos sucumbem (BAGGIO *et al.*, 1986).

2.3 EQUAÇÕES DE VOLUME DO POVOAMENTO

Definem-se equações de volume do povoamento como sendo equações funcionalmente similares às equações de volume para árvores individuais, porém que fornecem a estimativa da produção em função da área basal e da altura média ou da altura dominante do povoamento e não em função direta da idade, sítio e densidade do povoamento, como ocorre nos modelos de produção (CLUTTER *et al.*, 1983).

Segundo SPURR (1952), os modelos de produção não são suficientemente acurados para a estimativa do volume da maioria dos povoamentos que ainda não atingiram a máxima capacidade produtiva proporcionada pelo sítio. Desta forma, o modelo de volume do povoamento difere do modelo de produção por predizer o volume presente ao invés do rendimento futuro.

Com as tabelas de volume de povoamento podem ser obtidas estimativas do volume por unidade de área de forma rápida e simples. Destaca ainda, a precisão desse método que pode ser tão preciso quanto o inventário florestal convencional. Ressalta nesse sentido que este método pode ser usado para obtenção de estimativas adequadas e confiáveis para o manejo florestal, em comparação com o método que estima o volume do povoamento por meio da soma do volume das árvores individualmente. As exigências para se obter uma adequada tabela de volume devem ser que a mesma seja simples, objetiva e acurada (CARRON e CROMER, 1956; COLE, 1971 e SPURR, 1952; citados por OLIVEIRA, 2003).

SPURR (1952) mencionou que as tabelas de volume do povoamento são semelhantes às tabelas de produção, diferenciando-se porque estas últimas utilizam também a idade e a qualidade de sítio, como variáveis independentes e destinam-se mais especificamente para estimativas de produção futura e incrementos e são pouco acuradas para estimar volumes médios em florestas com densidades populacionais inferiores à média.

Desde meados do século XIX a comunidade florestal vem sistematicamente tentando prever o volume como uma função da área basal e da altura. SPURR (1952) fez uma excelente retrospectiva do uso dessas variáveis para a estimativa direta do volume do povoamento, citando que os primeiros esforços foram feitos por KÖNIG e COTHA em 1846; WEISE, (1881); FLURY, (1897) e SCHIFFEL, (1898). Comentou ainda que cem anos depois poucas tabelas de volume do povoamento com dados originais tinham sido publicadas.

No início do século XX, foram desenvolvidas várias pesquisas na Alemanha, Áustria e nos anos quarenta nos Estados Unidos com a finalidade de estimar o volume de povoamentos florestais por meio de fotografias aéreas, conseguindo resultados relativamente bons mediante o emprego de variáveis independentes, obtidas em fotografias aéreas, como a altura total média e a cobertura de copa em percentual. Posteriormente obtiveram-se melhores resultados substituindo a densidade de copa pela área basal do povoamento.

Com dados de 180 unidades amostrais de um povoamento de *Pseudotsuga mezesii* Franco, com idades desde 25 até 175 anos, nos estados de Oregon e Washington, nos Estados Unidos, SPURR (1952) testou vários modelos por meio da análise de regressão onde as equações adquiriram uma das seguintes três formas gerais:

$$V = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 \bar{h} + \beta_3 G\bar{h} \quad (2.1)$$

A primeira equação tem sido chamada de Fórmula Australiana por ter sido usada naquele país para estimar o volume de árvores individuais por STOATE em 1945.

$$V = \beta_0 + \beta_1 G\bar{h} \quad (2.2)$$

A segunda é uma simplificação da fórmula australiana, conhecida como a Equação da Variável Combinada, e o último chamado de Modelo do Fator de Forma Constante, também proposto por SPURR (1952):

$$V = G\bar{h}f \quad (2.3)$$

onde:

V = volume por hectare

β_i = parâmetros estimados utilizando os dados observados,

f = função da forma do povoamento

G = área basal média por unidade de área e

\bar{h} = altura total média do povoamento.

TAKATA (1959) citado por HUSCH (1972) testou várias formas similares às utilizadas para estimar o volume de árvores individuais, para obter o volume do povoamento, selecionando como a de melhor desempenho o seguinte modelo:

$$V = G\bar{h}/(\beta_0 + \beta_1 d_g) \quad (2.4)$$

onde: d_g = diâmetro médio quadrático.

No entanto, considerando experiências mais recentes, MACHADO *et al.*, (2000) asseveram que atualmente no mundo inteiro, inúmeras são as pesquisas desenvolvidas versando sobre o desenvolvimento de equações de volume do povoamento florestal. Dentre eles os de SILVA (1979), FIGUEIREDO FILHO (1983), ROSOT (1989), UNG e OUELLET (1991) e SCOLFORO (1998). Nessas equações, o volume por hectare ou outra unidade de área é a variável dependente. As possíveis variáveis independentes nas equações preditivas são várias, entre as quais se podem citar a área basal por hectare, altura dominante, altura média, idade, sítio, diâmetro médio, número de árvores por hectare, etc.

Nos Estados Unidos, segundo SHIVER e BRISTER (1992), tem se prestado cada vez menos atenção às funções de volume do povoamento, sendo mais comumente utilizadas as funções de produção. No entanto, para plantações visando a produção de energia ou situações similares, como é o caso dos povoamentos de bracatinga na região sul do Brasil, com um só produto como destino final que é mensurado em quantidades expressas por unidade de área, as equações de volume do povoamento,

apresentam-se como um recurso útil, já que podem ser simples, fáceis de aplicar e rapidamente legíveis.

Por oportunidade da primeira avaliação, em nível regional, das plantações de *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp., introduzidos no cerrado brasileiro após onze anos de incentivos fiscais, ocorreu uma avaliação global da produção volumétrica resultante. Dentro de tal projeto federal, e no âmbito concreto dos cerrados do Estado de Minas Gerais (Alto Médio São Francisco e Triângulo Mineiro) e do Estado de Mato Grosso do Sul (Campo Grande), SILVA (1979) estudou um elenco de doze variáveis independentes, para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, tomando sempre como variável dependente o volume por hectare. A área basal por hectare, a altura média aritmética e a altura dominante na forma simples, quadrática e combinada compuseram o elenco de variáveis explicativas estudadas. O modelo de equação simplificado escolhido foi:

$$V = \beta_0 + \beta_1 Gh_{\text{dom}} \quad (2.5)$$

onde:

V = volume do povoamento (m³/ha)

G = área basal (m²/ha).

h_{dom} = altura dominante (média das 100 árvores de > \bar{d} /ha (m)).

β_0 e β_1 = coeficientes do modelo.

Na forma gráfica, quando colocados o volume por hectare contra a variável independente Gh_{dom} para as três regiões, esse apresentou uma relação linear com pequena tendência curvilínea, mais acentuada principalmente para os dados dos extremos inferiores da escala. Esta mesma relação havia sido constatada por SPURR (1952) quando trabalhou com *Pseudotsuga mezesii*. Constatada heterogeneidade das variâncias para os dados do Triângulo Mineiro e Campo Grande, pesquisaram-se vários métodos visando à homogeneização das mesmas, resultando a logaritimização o de maior efetividade. Assim, o modelo logarítmico determinado para a estimativa do volume total com casca por hectare resultou, na forma linear aditiva:

$$\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log(G^2 h_{\text{dom}}) \quad (2.6)$$

ou, na forma exponencial:

$$V = \beta_0 (G^2 h_{\text{dom}})^{\beta_1} \quad (2.7)$$

Uma vez obtidos os coeficientes dos modelos, para cada uma das três regiões, os valores das correlações entre o estimado e real resultaram altíssimos, variando desde 0,9978 para o Alto Médio São Francisco até 0,9914 para o Triângulo Mineiro. Apresentando assim mesmo, baixos valores de erro padrão da estimativa: 1,51% para o Alto Médio São Francisco, 2,34% para Campo Grande e o Triângulo Mineiro com 2,45%.

FIGUEIREDO FILHO (1983) em pesquisa com dados dos Subgrupos de Formações, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta em várias Subformações, Áreas de Tensão Ecológica e Áreas de Formações Pioneiras, nos municípios de Tefé e Juruá, Estado do Amazonas concluiu, que os modelos logarítmicos testados sempre foram superiores aos aritméticos, para estimar o volume por hectare com casca. A evidencia da existência de variabilidade entre os dados estudados foi homogeneizada pela logaritmização. O modelo selecionado dos pré-existentes, mais eficiente foi:

$$\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log G^2 \bar{h} \quad (2.8)$$

Com relação aos modelos elaborados pelo processo *Forward*, em todos os casos estudados, as combinações $G\bar{h}$ e $G^2\bar{h}$ foram as primeiras a ingressar nos modelos, para modelos aritméticos e logarítmicos, respectivamente. Houve alternância no ingresso da segunda variável, principalmente entre G e $G\bar{h}$, enquanto que a entrada de uma terceira variável, quase sempre resultou em acréscimo de precisão não significativo. O autor resume que de forma geral, os modelos selecionados pelo processo *Forward*, apresentaram melhoras significativas quanto à precisão.

ROSOT (1989) destacou como o mais eficiente, dentre os vários modelos aritméticos e logarítmicos selecionados da literatura e testados para todas as séries de dados de povoamentos de *Pinus taeda* L. com 13 anos de idade, localizados em Piraí do Sul, Estado do Paraná, a adaptação de Spurr para a Fórmula Australiana (2.1), onde a altura média é substituída pela altura dominante, resultando na expressão:

$$V = \beta_0 + \beta_1 G + \beta_2 h_{\text{dom}} + \beta_3 G h_{\text{dom}} \quad (2.9)$$

Por outro lado, entre os modelos logarítmicos selecionados da literatura, para todas as séries, menciona-se que o de melhor desempenho foi:

$$\log V = \log \beta_0 + \beta_1 \log Gh_{\text{dom}} \quad (2.10)$$

Esse autor sugere, a exemplo de SILVA (1979), como uma alternativa de relativamente fácil aplicação, o modelo com somente uma variável independente, gerado pelo processo *Stepwise*, o qual apresentou erros especialmente baixos: 2,14%, 2,10% e 2,03% em cada série:

$$V = \beta_0 + \beta_1 Gh_{\text{dom}} \quad (2.11)$$

Ainda que os melhores modelos selecionados pelo processo *Stepwise* resultassem ser os logarítmicos, apresentando sempre menores valores para o erro padrão da estimativa, o modelo (2.11) apresentado anteriormente, poderia ser preferível em função da sua simplicidade, alta precisão, ajuste elevado $R^2 = 0,9932$, distribuição homogênea dos resíduos em função dos volumes observados, e da pequena magnitude de dispersão dos resíduos, situada entre $\pm 10\%$.

Com o propósito de estabelecer tabelas de volume do povoamento (total e até 9 cm de diâmetro no topo) baseadas em características simples como a área basal, a altura média e a altura dominante, UNG e OUELLET (1991) testaram o modelo $V = \beta_0 G^{\beta_1} \bar{h}^{\beta_2}$, para florestas de *Picea mariana* (Mill.) B.S.P., em Level-sur-Quévillon, no Canadá. O melhor resultado foi encontrado ao usar a altura dominante, como variável independente:

$$V = \beta_0 G^{\beta_1} h_{\text{dom}}^{\beta_2} \quad (2.12)$$

Estes autores concluíram que a utilização de ambas as variáveis, área basal e altura dominante, resultaram num modelo satisfatório porque estes dois critérios são simples e rapidamente mensuráveis, permitindo cobrir uma ampla variedade de situações produtivas para a espécie em questão.

Com o objetivo de desenvolver tanto funções de volume individual (total e comercial), quanto do povoamento (total e comercial), para *Eucalyptus saligna* Sm. plantados para satisfazer as necessidades de energia, consumida na secagem de chá e de fumo, na região de Nandi Hills no oeste do Kenia, SHIVER e BRISTER (1992)

utilizaram inicialmente seis variáveis independentes, para estimar o volume por hectare. As variáveis foram: diâmetro limite do topo (d_i), idade em anos (I), altura média das dominantes e codominantes ($h_{\text{dom/cd}}$), área basal por hectare (G), número de árvores por hectare (N), e diâmetro médio quadrático à altura do peito (d_g). Os autores consideraram que o volume total do povoamento poderia ser multiplicado por um quociente, entre um determinado diâmetro comercial (d_i), e o diâmetro médio quadrático à altura do peito (d_g), para se obter o volume comercial do povoamento. Com este objetivo e considerando a expressão proposta por AMATEIS *et al.* (1986)¹: $\exp(\beta_4 (d_i / d_g)^{\beta_5})$, como um modificador capaz de converter qualquer equação de volume total, numa equação de volume comercial a um diâmetro do topo variável, ajustaram uma equação de volume total do povoamento: $V_d = \beta_6 G^{\beta_7} h_{\text{dom/cd}}^{\beta_8} I^{\beta_9}$ com o acréscimo do modificador. O modelo resultante foi:

$$V_d = \beta_6 G^{\beta_7} h_{\text{dom/cd}}^{\beta_8} I^{\beta_9} \exp(\beta_4 (d_i / d_g)^{\beta_5}) \quad (2.13)$$

onde:

V_d = volume do povoamento (m^3/ha) até um diâmetro limite (com casca) de d_i (cm)

G = área basal por hectare (m^2/ha)

$h_{\text{dom/cd}}$ = altura média das dominantes e codominantes (m)

I = idade (anos)

d_i = diâmetro limite do topo (cm), com casca

d_g = diâmetro médio quadrático à altura do peito

β_i = coeficientes a serem estimados a partir da base de dados.

Essa equação apresentou um coeficiente de determinação de 0,99, tanto para volume comercial do povoamento com casca quanto, para o sem casca. Salienta-se que uma propriedade biológica razoável do modelo é que quando $d_i = 0$, $V_d =$ volume total.

MACHADO e PIZATTO (1998) analisaram 19 equações tanto para volume comercial com casca, quanto para volume comercial sem casca, com o intuito de obter

¹ AMATEIS, R., BURKHART, H.E. and BURK, T.E. A ratio approach to predicting merchantable yields of unthinned loblolly pine plantations. *Forestry Science*, 32, 287-296, 1986.

a melhor equação de volume do povoamento para a espécie *Araucaria angustifolia*, nos estados da Região Sul do Brasil. Na oportunidade da realização dos gráficos de valores estimados pelas melhores equações aritméticas, constataram tendenciosidade para os limites inferiores dos dados, fato detectado também por outros autores, como SPURR (1952) e SILVA (1979), razão que levou os autores a preferir modelos logaritmizados. No desenvolvimento de equações pelo processo *Stepwise* obtiveram excelentes resultados para as mais variadas combinações de variáveis independentes, sendo que a combinação do produto $G\bar{h}$ entrou como variável independente em todas as equações. Os autores concluíram que esta foi a melhor combinação entre todas as variáveis testadas. Finalmente devido à maior simplicidade, e a diferença pouco significativa no que se refere ao ajuste e à precisão da melhor equação, obtida pelo processo *Stepwise*, os autores preferiram recomendar um dos 19 modelos testados em primeira instância, tanto para volume comercial com casca, quanto sem casca. O modelo resultante a seguir apresentou um coeficiente de determinação de 0,992 e 0,99 e um erro padrão de estimativa de 10,9% e 12,03%, respectivamente para o volume do povoamento com casca e sem casca:

$$\ln V = \ln \beta_0 + \beta_1 \ln G\bar{h} \quad (2.14)$$

onde:

V = volume total (m^3/ha)

G = área basal (m^2/ha)

\bar{h} = altura média (m)

\ln = logaritmo neperiano

β_i = coeficientes do modelo.

Com base no mesmo conjunto de dados, MACHADO *et al.* (2000) desenvolveram uma pesquisa cujo objetivo foi comparar os resultados de volumes por hectare e por classe de diâmetro por meio de três métodos de avaliação: inventário florestal convencional; tabela de volume do povoamento florestal e distribuição diamétrica. Nesse sentido, ajustaram uma equação do povoamento genérica para as duas tipologias florestais (I = Floresta Ombrófila Mista primária, e II = Floresta

Ombrófila Mista secundária) onde a de melhor ajuste (R^2 : 0,992), precisão (S_{yx} : 10,9%) e distribuição de resíduos para a espécie *Araucaria angustifolia*, foi a seguinte:

$$\ln V = -0,1428 + 0,9678 \ln G\bar{h} \quad (2.15)$$

Esta equação foi utilizada para a obtenção de volumes por hectare e por classe diamétrica, com base na área basal por hectare e na altura média da respectiva classe. A soma de volumes por classe de diâmetro resultou no volume total por hectare. Concluíram que, embora não se tivesse o parâmetro verdadeiro da população para servir de comparador entre os métodos de avaliação testados, no caso da tipologia I, as análises estatísticas mostraram evidências de que as diferenças entre os volumes estimados por cada método não foram significativas. No entanto, ao se proceder a uma análise mais criteriosa, verificaram que efetivamente houve diferenças significativas entre o método da distribuição diamétrica, e os demais analisados. Os volumes por hectare e por classe diamétrica, obtidos por meio da equação de volume do povoamento, são consistentemente maiores do que aqueles estimados pela distribuição diamétrica. O resultado obtido pela distribuição diamétrica foi 9% e 6,6% menores do que o da equação de volume do povoamento, para as tipologias I e II respectivamente.

Finalmente neste quinquênio, uma experiência com fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual foi elaborada por OLIVEIRA (2003), oportunidade na qual ajustou oito modelos para a estimativa do volume do povoamento. Os fragmentos constituíam-se de estágios primários e de remanescentes secundários, localizados no município de Viçosa, no Estado de Minas Gerais. Concluiu-se que o modelo desenvolvido por UNG e OUELLET (1991) cujos volumes por hectare e as variáveis independentes, área basal por hectare e altura do povoamento (altura total média e altura média dos fustes) estavam linearizados, foi o de melhor desempenho para a estimativa do volume total e do fuste, com casca por hectare. O modelo é expresso pela função:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln G + \beta_2 \ln \bar{h} \quad (2.16)$$

2.3.1 Variáveis Independentes

2.3.1.1 Relação com o volume do povoamento

O incremento em volume resulta dos efeitos combinados do incremento na área basal e na altura com a adição das mudanças do fator de forma. A fórmula que reflete as mudanças de todos os componentes e as suas contribuições relativas ao incremento em volume, poderia ser complexa e difícil de explicar (WIEDEMANN, 1931;² citado por ASSMANN, 1970). O produto da altura e o fator de forma, ou a também chamada altura formal, pode ser concebido geometricamente como a altura de um cilindro cujo volume é idêntico ao volume de uma árvore. Definindo o incremento em área basal como i_G , a área basal da árvore ou do povoamento no início do período de crescimento como G_a , a altura formal no final do período como fh_e e o incremento em altura formal como i_{fh} , então o incremento em volume i_v poderia ser representado pela fórmula (ASSMANN, 1950)³:

$$i_v = i_G \cdot fh_e + i_{fh} \cdot G_a \quad (2.17)$$

Desta forma, além do incremento em área basal, são decisivos para o incremento em volume, a altura formal no final do período de incremento, o incremento da altura formal e a área basal no início do período. O crescimento e o desempenho por unidade de tempo de um povoamento dependem da idade, entretanto, é o sítio que determina o nível médio potencial, desse desempenho.

Enquanto o processo de crescimento em um bom sítio é rápido, os povoamentos crescendo em sítios mais pobres atingem as mesmas fases naturais de crescimento, em idades maiores. Outra vantagem dos melhores sítios, especialmente se eles mantêm um suprimento de água satisfatório, é o adequado potencial nutricional para suportar um maior número de árvores de determinadas dimensões.

A seqüência no número de árvores por hectare reflete o processo de contínua eliminação que tem lugar ao longo da vida de um povoamento. Constantemente as

² WEIDEMANN, E. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. **63**, 614. 1931.

³ ASSMANN, E. Forstwissenschaftliches Centralblatt **69**, 256. 1950.

árvores que são cobertas durante a luta pela luz e pelo espaço e atingem a posição sociológica mais baixa dentro do povoamento, morrem. Se colocarmos em um gráfico o número de árvores por hectare em função da idade, a curva primeiramente declina com velocidade acentuada, para logo, gradativamente manter o nível de declínio. Matematicamente, REINEKE (1933)⁴ e MÜLLER⁵ (1957) citados por ASSMANN (1970), demonstraram esta relação por meio de uma função muito versátil, substituindo a idade no eixo das abscissas pelo diâmetro médio quadrático (d_g). A função exponencial é $N = bd_g^{-a}$, e quando expressa na forma logarítmica: $\log N = k - a \log d_g$.

Assim, como o número de fustes se reduz mais rapidamente nos sítios melhores, para povoamentos de qualquer espécie, por exemplo, *Picea abies* L. (Karst) (*Norway spruce*) apresenta, considerando constante a idade, maior número de árvores nos sítios piores. Por outro lado, se mantivermos a altura média como constante, os povoamentos crescendo em sítios piores têm menor número de fustes (e também idades maiores).

Em geral as espécies pioneiras, demandantes por luz, têm menor quantidade de fustes que as tolerantes à sombra para uma mesma altura média (ASSMANN, 1970).

2.3.1.2 Correlações com o volume por unidade de área

A correlação, assim como a covariância, é uma medida do grau em que duas variáveis variam conjuntamente, ou uma medida da intensidade de associação (STEEL e TORRIE, 1989). A matriz de correlação linear simples permite ao pesquisador detectar rapidamente quais variáveis independentes estão altamente correlacionados com as dependentes em uma base de dados determinada, facilitando assim o avanço da pesquisa.

⁴ REINEKE, L. H. Journal of Agricultural Research. Vol, 46. 1933.

⁵ MÜLLER, G. Über Gesetzmäßigkeiten im Wachstumsgang usw. Diss. Freiburg. 1957.

A análise de regressão não deve unicamente ser feita para as variáveis independentes medidas no campo, mas também para varias combinações de uma, duas, três e até quatro delas.

SPURR (1952) trabalhando com *Pseudotsuga menziesii* (*Douglas-fir*) resumiu que a variável simples mais associada com o volume por unidade de área foi a área basal. Para tal pesquisa, a melhor combinação de duas variáveis foi a da área basal com a altura. Já a combinação da idade com o sítio, base das tabelas normais de produção resultou em um erro padrão duas vezes superior à primeira combinação. Embora isso parecesse certamente indicar que a base estatística da tabela de volume do povoamento é muito mais forte do que a da tabela de produção, deve-se recordar que a análise anterior esteve baseada nas regressões lineares, não sendo verificadas quanto à curvilinearidade.

Das soluções com três variáveis independentes a combinação da área basal com a altura e a idade apresentou o menor erro padrão, mas a melhoria sobre a solução que combina a área basal e a altura foi muito pequena. Similarmente, a solução com quatro variáveis independentes não representou uma melhoria substancial sobre a melhor das soluções com três variáveis. Das dez soluções, a combinação mais promissora do ponto de vista da estimativa do volume por hectare, pareceu ser aquela baseada somente na combinação da altura e a área basal.

Posteriormente diversos autores têm testado variáveis independentes objetivando discriminar quais são as que melhor explicam o volume do povoamento, tanto para espécies plantadas quanto para florestas e ou espécies nativas, apresentam-se então alguns esforços feitos a partir da segunda metade do século XX.

MACHADO (1973) trabalhando com dados de um bosque secundário natural da floresta úmida em Turrialba, Costa Rica, verificou que somente a área basal por hectare, como única variável independente, foi responsável por 93% da variação do volume por hectare.

FERREIRA (1976) utilizou o modelo da variável combinada para estimar diretamente o volume cilíndrico de *Eucalyptus alba* Reinw. ex Blume e *Eucalyptus saligna* Sm., por unidade de área, em função de diferentes tipos de médias das alturas,

em combinação sempre com à área basal por hectare. O autor concluiu que a combinação da área basal por hectare com a média das alturas das cinco maiores árvores da parcela, resultou na equação mais precisa.

SILVA (1979) como já foi mencionado, estudou um elenco de doze variáveis independentes para várias espécies do gênero *Eucalyptus*, a partir da área basal por hectare a altura média aritmética e a altura dominante na forma simples, quadrática e combinada. Obteve as maiores correlações para explicar o volume por hectare com a área basal combinada com a altura média aritmética. No entanto, como a altura média aritmética é uma variável comparativamente mais difícil de se medir que a altura dominante (média das alturas das 100 árvores de maiores \bar{d} por hectare), escolheu esta última para compor o melhor modelo.

Coincidentemente, de todas as variáveis independentes utilizadas por FIGUEIREDO FILHO (1983) a combinação da área basal e a altura média aritmética, apresentaram nos casos estudados os maiores graus de correlação linear simples com as variáveis dependentes, tanto na forma aritmética quanto na logarítmica. Destacou-se especialmente a combinação $\log G^2 \bar{h}$ com correlações (r) variando de 0,9912 até 0,9962. A variável na forma simples com maior correlação linear foi $\log G$, com valores de r de 0,9468 até 0,9808.

Quando testada somente a área basal para estimar o volume total e o volume até 9 cm de diâmetro do topo pela expressão $V = \beta_0 G^{\beta_1}$, por UNG e OUELLET (1991) obtiveram 23% de erro para o volume total e 33% para o volume comercial. Ao incluir a altura dominante na forma $V = \beta_0 G^{\beta_1} h_{\text{dom}}^{\beta_2}$, produziu-se uma apreciável queda no erro, ficando em 11% para o volume total e 12% para o volume comercial. Entretanto, quando acrescentada à altura média $V = \beta_0 G^{\beta_1} \bar{h}^{\beta_2}$, o erro também diminuiu para 10% com relação ao volume total e para 14% com relação ao comercial. Em nenhum caso ocorreu tendenciosidade.

Para MACHADO e PIZATTO (1998), a combinação do produto $G\bar{h}$ e $G^2\bar{h}$, tanto na forma logarítmica como na aritmética, foram as variáveis mais correlacionadas com o volume por hectare, seguidas da área basal (com uma

correlação sempre maior a 0,82). O número de árvores por hectare teve baixa correlação com o volume. Ao se incluir a altura média \bar{h} , obtendo-se a variável $G\bar{h}$, a correlação desta com o volume foi sempre acima de 0,98. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por SPURR (1952), FERREIRA (1976), SILVA (1979), FIGUEIREDO FILHO (1983) e ROSOT (1989).

CROMER e BOWLING (1961) ajustaram um modelo considerando as variáveis: idade, altura dominante, número de árvores por hectare e área basal por hectare a um nível de 5% de significância. Nessa oportunidade todas as variáveis foram significativas, ajustando uma equação linear com 0,984 de R^2 e $S_{yx} = 5,3\%$, do tipo:

$$V = -518,1 - 1,189 I + 4,353 h_{dom} - 0,3281 N + 3,324 G \quad (2.18)$$

Posteriormente quando se diminuiu o nível de erro para 1%, a idade deixou de ser significativa. Como um modelo com tantas variáveis resultava de difícil aplicação, testaram a equação da variável combinada (usando h_{dom}) a qual resultou em 6,1 % de erro padrão da estimativa e 0,977 de R^2 . Considerando que houve uma diminuição na precisão e no ajuste, testaram então a Fórmula Australiana, onde a presença da variável $G\bar{h}$ fez com que G e \bar{h} individualmente deixassem de ser significativas a ponto de serem retiradas da equação. Como consequência a Fórmula Australiana e a equação da variável combinada resultaram praticamente iguais.

Finalmente foi testada por CROMER (1961) citado por CROMER e BOWLING (1961), a equação:

$$\frac{V}{G} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} \quad (2.19)$$

Mesmo obtendo um ajuste satisfatório com o modelo (2.19) para 1% de significância ($S_{yx} = 6\%$ e $R^2 = 0,94$), ao colocar em um gráfico os valores estimados surgiu certa curvilinearidade. Considerando esse fato, uma forma quadrática foi ajustada:

$$\frac{V}{G} = \beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 h_{dom}^2 \quad (2.20)$$

resultando em um R^2 de 0,95 com 5,5% de erro padrão da estimativa, não ocorrendo curvilinearidade, com significância de 1%. A regressão múltipla que incorporou tanto a idade quanto o número de árvores por hectare, assim como a altura e a área basal foi o melhor estimador do volume quando referendada com os dados compilados, obteve os mais altos valores de R^2 e o menor S_{yx} . Mesmo que a equação quadrática incorpore somente a altura e a altura ao quadrado (2.20), para estimar volume sobre a área basal, é a aplicação mais prática. A decisão adotada pelos autores foi a de utilizar esta última equação para a produção de uma tabela de volume, e de uma tabela de produção de densidade variável, em vista de que somente duas variáveis seriam necessárias h_{dom} e G .

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados provenientes da Região Metropolitana de Curitiba, coletados principalmente na região norte onde há maior ocorrência de bracingais. Foram incluídos 14 municípios, abrangendo uma área de influência de 731.850 ha.

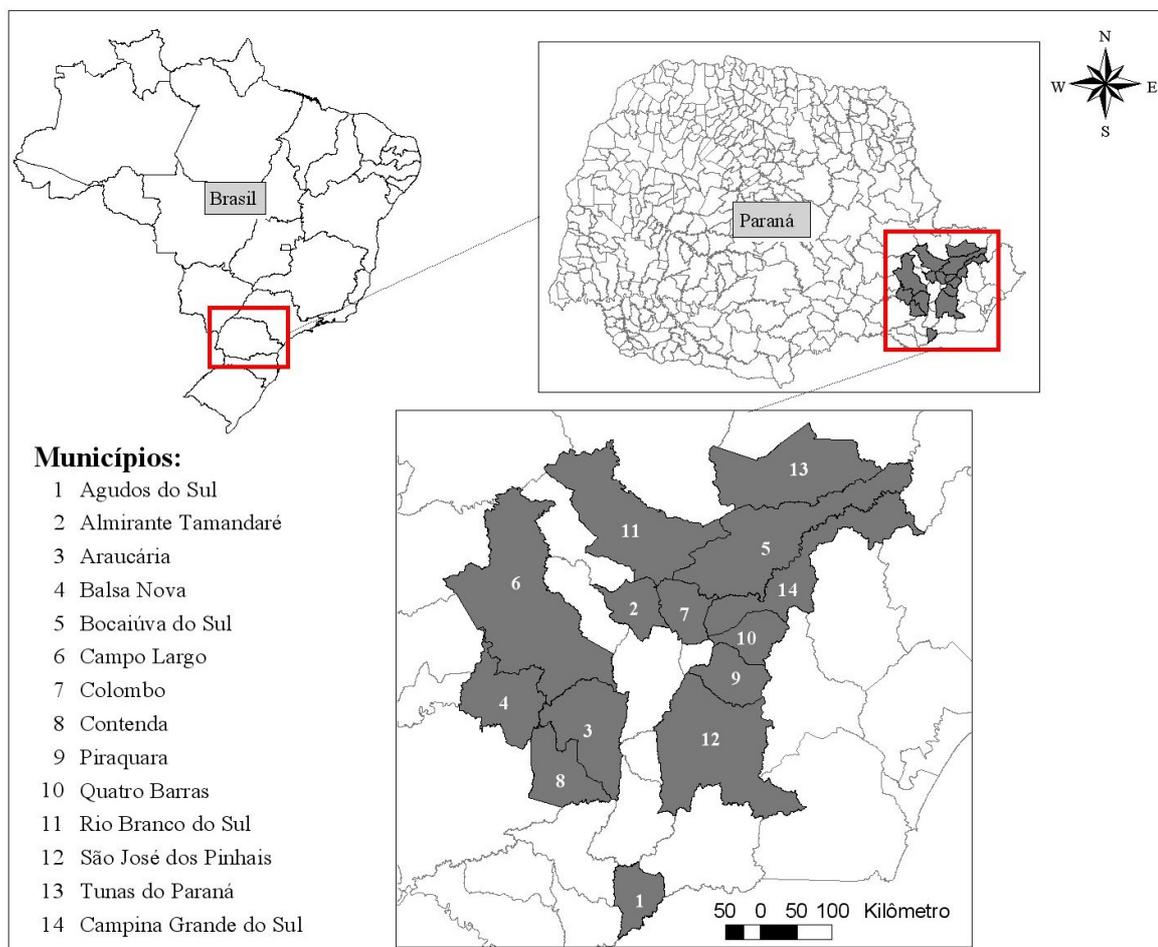
Os 14 municípios estão compreendidos entre as coordenadas planas UTM de latitude x: 716.745m, y: 7.252.445m em Tunas do Paraná como a localidade mais ao Norte e x: 663.828m, y: 7.109.037m em Agudos do Sul no extremo meridional. Quanto à longitude têm-se Campo Largo ao oeste, com as coordenadas: x: 614.668m, y: 7.208.921m até Campina Grande do Sul, ao leste com as coordenadas: x: 749.622m, y: 7.221.759m. A amplitude altitudinal é de 130 metros desde 850 m.s.n.m em Agudos do Sul até 980 m.s.n.m. em Bocaiúva do Sul. No ANEXO I se detalham as coordenadas geográficas, a superfície e a altitude das sedes de cada município. A localização dos mesmos dentro do Estado do Paraná e na Região Metropolitana de Curitiba encontra-se representada na Figura 1.

A bracinga é nativa dos climas mais frios do Brasil, associada à Floresta Ombrofila Mista, principalmente na Formação Montana, cuja ocorrência natural apresenta na sua maior parte o tipo *Cfb* (temperado chuvoso). Tal categoria, segundo a classificação de Köppen implica que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 17°C, com verões frescos, temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C e sem estação seca definida.

A temperatura média anual para a região oscila entre 12 a 20°C, sendo as temperaturas médias do mês mais frio de 8 a 14°C e do mês mais quente de 17 a 23°C. A precipitação média anual varia de 1.300 a 2.300 mm, com janeiro como o mês mais chuvoso (200 mm / mês) e um período de mínima (75-100 mm / mês) que vai entre abril e agosto. O número de geadas ao ano tem variação de 10 a 25 (CARVALHO, 2003).

A região de estudo, predominantemente, é ondulada a fortemente ondulada. Os solos na maioria são Cambissolos álicos, com diferentes graus de profundidade e fertilidade; como regra, são solos pobres, pouco desenvolvidos, ácidos, com teores elevados de alumínio e baixa saturação de bases.

FIGURA 1 – MAPA DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – ESTADO DO PARANÁ, COM A LOCALIZAÇÃO DOS 14 MUNICÍPIOS ONDE FORAM MENSURADOS BRACATINGAS NATIVAS.



Fonte: Mapa realizado com o programa ArcView 9 - ESRI.

3.2 ORIGEM DOS DADOS – UNIDADES AMOSTRAIS

Foram utilizadas duas fontes de informação, por um lado a base de dados de TONON (1998) constituída por 141 parcelas entre permanentes e temporárias, e por

outro lado 100 parcelas temporárias coletadas entre julho de 2004 e março de 2005, como parte do projeto antes mencionado, coordenado pelo Professor Dr. Sebastião do Amaral Machado, totalizando 241 unidades amostrais.

3.2.1 Base de dados TONON (1998)

A base de dados de TONON (1998) por sua vez está conformada por três fontes de dados. Primeiramente, dados coletados nas parcelas permanentes resultaram da implantação e medição pela EMBRAPA - FLORESTAS, de um experimento para estudar os efeitos de diversos níveis de densidade sobre o crescimento de variáveis do povoamento e de árvores individuais. O experimento, em blocos ao acaso foi instalado em quatro propriedades, um ano após a regeneração natural no período de agosto de 1984 e janeiro de 1985. A densidade inicial (número de árvores por hectare) foi reduzida para 2.000, 4.000 e 8.000, deixando a testemunha sem tratamento. As parcelas tinham uma superfície de 325 m² (13 x 25 m), as medições de \bar{a} e altura total das bracatingas foram efetuadas anualmente até a idade de 7,6 anos. Dessa pesquisa tomaram-se somente as parcelas testemunha, resultando em **17** unidades amostrais.

A segunda fonte de dados esteve conformada por **87** parcelas temporárias foram instaladas e medidas também pela EMBRAPA - FLORESTAS, em bracatingais nativos com idades variando de 5 a 18 anos, notadamente nos municípios de Colombo, Bocaiúva do Sul e Campina Grande do Sul.

Além disso, a Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL – Divisão de Meio Ambiente cedeu dados de **37** parcelas de 100 m² (10 x 10 m), com idades de 3 a 11 localizadas nos municípios: Almirante Tamandaré, Araucária, Bocaiúva do Sul, Balsa Nova, Colombo, Campo Largo, Contenda, Piraquara, Quatro Barras, Rio Branco do Sul, São José dos Pinhais, Agudos do Sul, constituindo a terceira fonte de dados.

Em todas as unidades amostrais foram medidas as alturas: total e comercial com hipsômetro de Blumeleiss, e a circunferência à altura do peito com fita métrica, de todas as árvores ocorrentes na parcela, independentemente de limite diamétrico.

3.2.2 Coleta de Dados das Parcelas Temporárias

Finalmente foram coletados dados em **100** parcelas temporárias com superfícies de 300 e 400 m² (10 m x 30 m e 10 m x 40 m). Em cada parcela foi medida para todas as bracatingas a circunferência à altura do peito com fita métrica, e a altura total com vara telescópica graduada cada 0,50 m e ou com hipsômetro de Blumeleiss, para as árvores maiores do que 10 metros. Priorizou-se bracatingais de 6 a 15 anos de idade com o objetivo de complementar a base de dados pré-existente.

3.2.3 Estimativa do Volume Individual da Bracatinga

Para a estimativa do volume de cada árvore foi usada a equação de volume individual para *Mimosa scabrella* desenvolvida por ARHENS (1981), seguindo o mesmo critério para o cálculo do volume individual utilizado na construção da base de dados pré-existente. Dessa forma, o volume individual com casca da bracatinga foi estimado pela equação:

$$v = 0,3879 \cdot d^2 h$$

onde:

v = volume individual com casca (m³)

d = diâmetro à altura do peito (m), com casca.

h = altura total da árvore (m), do solo até o extremo superior da copa.

O volume individual para o caso refere-se ao volume comercial em metros cúbicos, com casca, incluindo o tronco principal e porções dos ramos, até um diâmetro comercial limite de 4,0 cm com uma altura de toco padrão de 5 cm. As árvores amostra foram cubadas segundo o método de Smalian. Devido à constatada tortuosidade dos troncos da bracatinga, dividiu-se o tronco principal, bem como as ramificações em secções de 0,50 m até o diâmetro limite comercial para lenha (ARHENS, 1981). O autor recomenda a aplicação da equação somente dentro da amplitude de diâmetros e alturas incluídos na investigação, sendo de 5 até 36 cm e de 8 até 29 m, respectivamente.

A equação desenvolvida por ARHENS (1981), corresponde a um fator de forma de 0,4938, dessa forma a equação torna-se uma expressão equivalente da seguinte forma:

$$v = \frac{\pi}{4} d^2 h \cdot 0,4938$$

Em futuras pesquisas relacionadas aos povoamentos estudados, caso o fator de forma para estimar o volume individual da bracatinga seja outro, as equações de volume do povoamento para a espécie, obtidas nessas novas instancias, devem sofrer um ajuste. Este ajuste deverá ser realizado pela multiplicação de um fator de conversão dado pela razão entre o novo fator de forma e o valor 0,4938.

Cabe mencionar que MAZAROTTO (1989) ajustou modelos matemáticos para estimar o volume individual com casca da bracatinga, em diferentes idades. Obtendo uma equação para cada idade desde 1 até 7 anos, e duas equações quando agrupados os dados. Estas não foram consideradas para o presente trabalho por três razões fundamentais, a amplitude de idades é diferente à das parcelas coletadas, a de localidades também, e se geraria incompatibilidade com a base de dados anterior, na qual foi utilizada a equação de ARHENS (1981).

3.2.4 Estimativa do Volume do Povoamento

Para a obtenção do volume de cada unidade amostral somaram-se os volumes individuais de cada bracatinga, posteriormente expandiu-se o volume de cada parcela para o hectare, chegando assim ao volume total com casca por hectare.

3.2.5 Classificação de Sítio da Bracatinga

Para o cálculo da altura dominante utilizou-se o critério de ASSMANN (1970) segundo o qual a altura dominante é a média aritmética da altura total das 100 árvores de maior diâmetro à altura do peito por hectare.

As idades das parcelas no campo foram determinadas através de informações locais, conferidas quando necessário, através da leitura dos anéis de crescimento, exceto para as parcelas permanentes onde a idade era conhecida.

Utilizou-se para a classificação de todas as unidades amostrais, a classificação de índice de sítio para bracatinga feita por TONON (1998), a qual estabelece 3 classes de sítio: I, II, e III, com índices de 16,8; 13,5 e 10,2 m aos 7 anos, respectivamente.

3.2.6 Base de Dados Final

Uma vez calculado o volume total por hectare e classificadas as parcelas nos seus respectivos índices de sítio, construiu-se a base de dados definitiva com as variáveis: volume total com casca por hectare (V), área basal por hectare (G), número de árvores por hectare (N), idade do povoamento (I), altura total média (\bar{h}), altura dominante (h_{dom}), diâmetro à altura do peito médio (\bar{d}), volume da árvore média (\bar{v}) diâmetro médio quadrático (d_g), e índice de sítio (IS). Um resumo do número de unidades amostrais por idade está na Tabela 1.

TABELA 1 - LISTA DE UNIDADES AMOSTRAIS POR IDADE

IDADE (ANOS)	Nº DE UNIDADES AMOSTRAIS
3	5
4	12
5	29
6	30
7	33
8	22
9	21
10	21
11	13
12	18
13	10
14	15
15	8
18	4
Total	241

Para a padronização dos símbolos tanto dendrométricos, quanto silvimétricos utilizados neste documento foram considerados os critérios citados por MACHADO e FIGUEIREDO FILHO (2003), os quais por sua vez baseiam-se na IUFRO (International Union of Forest Research Organizations), através do Boletim Técnico da Universidade de Maine e da Estação Experimental Agrícola, publicado em 1965.

As tabelas correspondentes à base de dados encontram-se detalhadas nos ANEXOS IV, V e VI.

3.2.6.1 Análise exploratória dos dados – detecção de dados discrepantes

Sobre a base de dados final foi realizada uma análise exploratória dos dados para detectar a presença de dados discrepantes (*outliers*). Considerando como dado discrepante uma peculiaridade e indica uma observação cujo valor é muito superior ou inferior ao restante das observações. Para a rejeição dos dados discrepantes foram os considerados os critérios utilizados por REGAZZI e LEITE, (1993):

1. rejeitar quando for possível afirmar que houve em erro de medição;
2. rejeitar quando uma observação for maior que o restante, em valor absoluto, pelo menos duas vezes o desvio padrão residual.

Em tal oportunidade retiraram-se **12** parcelas que foram caracterizadas como discrepantes, resultando **229** parcelas: **20** foram reservadas e posteriormente utilizadas na validação e **209** foram usadas para os processos de ajuste.

3.2.6.2 Dados utilizados na caracterização quantitativa dos povoamentos

Para a caracterização quantitativa dos bracingais foram retiradas as 4 parcelas de 18 anos de idade por existir um impasse nas informações entre os 15 e os 18 anos. Utilizando-se finalmente **225** unidades amostrais a composição dos descritores gerias.

3.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

3.3.1 Construção da Matriz

Uma vez concluída a análise exploratória e retirados os dados discrepantes, resultaram **229** parcelas, com essas unidades amostrais gerou-se um conjunto de variáveis a partir de combinações, logaritmizações, inversos e potências das sete variáveis originais. Resultou desta forma um total de 58 variáveis independentes considerando também as variáveis na sua forma pura, reunidas na Tabela 2.

TABELA 2 - VARIÁVEIS INDEPENDENTES GERADAS

VARIÁVEIS INDEPENDENTES					
Variáveis puras	Inversos e Potências	Variáveis puras logaritmizadas	Inver. e Potências Logaritmizadas	Produtos cruzados	Produtos cruzados Logaritmizados
I	1/I	lnI	ln1/I	Gh_{dom}	$\ln Gh_{dom}$
N	1/N	lnN	ln1/N	$G \bar{h}$	$\ln G \bar{h}$
G	G^2	lnG	$\ln G^2$	Gh_{dom}	$\ln Gh_{dom}$
\bar{d}	\bar{d}^2	$\ln \bar{d}$	$\ln \bar{d}^2$	GN	$\ln GN$
\bar{h}	\bar{h}^2	$\ln \bar{h}$	$\ln \bar{h}^2$		
d_g	d_g^2	$\ln d_g$	$\ln d_g^2$	$\bar{d} \bar{h}_{dom}$	$\ln \bar{d} \bar{h}_{dom}$
h_{dom}	h_{dom}^2	$\ln h_{dom}$	$\ln h_{dom}^2$	$\bar{d} \bar{d}_g$	$\ln \bar{d} \bar{d}_g$
				$N \bar{d}$	$\ln N \bar{d}$
				$G^2 h_{dom}$	$\ln G^2 h_{dom}$
				$G^2 \bar{h}$	$\ln G^2 \bar{h}$
				$G \bar{h}^2$	$\ln G \bar{h}^2$
				$G h_{dom}^2$	$\ln G h_{dom}^2$
				$G^2 N$	$\ln G^2 N$
				$\bar{d}^2 \bar{h}_{dom}$	$\ln \bar{d}^2 \bar{h}_{dom}$
				$\bar{d}^2 \bar{d}_g$	$\ln \bar{d}^2 \bar{d}_g$
				$\bar{d}^2 \bar{h}$	$\ln \bar{d}^2 \bar{h}$

V = volume total com casca por hectare (m^3/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m^2/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

A matriz de correlação linear simples construída com as 58 variáveis independentes mostrou-se uma ferramenta de análise, prática e adequada, uma vez que a mesma resulta na padronização dos dados, tornando-os adimensionais o qual em

função da diversidade das unidades de medição das variáveis originais foi necessária para visualizar claramente as relações entre elas e delas com as variáveis dependentes.

3.3.2 Seleção das Variáveis Independentes

Realizou-se a descrição do relacionamento entre, as variáveis independentes da matriz de correlação linear simples, e as duas variáveis dependentes trabalhadas: volume total médio com casca, por hectare e o logaritmo neperiano deste. Destacaram-se aquelas variáveis independentes que apresentaram forte correlação com as dependentes. Levando-se em conta que a correlação pode ser positiva, negativa ou aproximadamente nula e está sempre contida dentro do intervalo $-1 \leq r \leq +1$, destacaram-se em cinza, dentro da matriz, as correlações superiores a 0,8 e inferiores a -0,8. Em seqüência utilizaram-se as correlações lineares simples como facilitadores na composição dos modelos de regressão linear por meio do processo de ajuste *Forward*; posteriormente obteve-se uma melhor solução aplicando o processo *Stepwise*.

Mesmo assim foram elaborados e descritos gráficos de dispersão, visando identificar padrões de distribuição da relação entre as variáveis.

3.4 INTENSIDADE AMOSTRAL

A intensidade amostral foi calculada para: o número de árvores por hectare, o volume total com casca, a área basal, o diâmetro à altura do peito médio, e para as alturas total média e dominante, utilizando as **229** parcelas que foram usadas para o ajuste e a validação. Considerou-se um erro de amostragem de 10% da média estimada para um nível de probabilidade de 0,05. Para cada um das variáveis mencionadas foi calculada a média aritmética, a variância, o desvio padrão, o coeficiente de variação, a amplitude o erro de amostragem absoluto o intervalo de confiança para a média e o número de amostras necessárias.

3.5 MODELOS DE VOLUME DO POVOAMENTO TRADICIONAIS

Os modelos selecionados da literatura tanto lineares quanto não lineares foram ajustados com *software* adequado para tal finalidade.

Um total de **29** modelos matemáticos foram selecionados, 12 modelos de natureza aritmética, 4 semi-logarítmicos e 13 de natureza logarítmica. Na Tabela 3 constam os modelos aritméticos e semi-logarítmicos. São modelos tradicionais, em geral largamente testados para estimar o volume do povoamento como, por exemplo, a fórmula australiana (M3) ou a equação da variável combinada (M5), assim como também alguns modelos utilizados para estimar volume individual (M12) os quais foram adaptados para a estimativa do volume do povoamento.

TABELA 3 -- MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS SELECIONADOS PARA ESTIMAR O VOLUME DO POVOAMENTO COM CASCA.

Nº	EQUAÇÕES	AUTORES
M1	$V = b_0 \cdot G^{b_1} \cdot h_{dom}^{b_2}$	UNG e OUELLET (1991)
M2	$V = b_0 \cdot G^{b_1} \cdot \bar{h}^{b_2}$	UNG e OUELLET (1991)
M3	$V = b_0 + b_1 G \bar{h} + b_2 G + b_3 \bar{h}$	STOATE (1945)
M4	$V = b_0 + b_1 G h_{dom} + b_2 G + b_3 h_{dom}$	STOATE (1945)
M5	$V = b_0 + b_1 G \bar{h}$	SPURR (1952)
M6	$V = b_0 + b_1 G h_{dom}$	SPURR (1952)
M7	$V = b_0 + b_1 G$	SPURR (1952)
M8	$V = b_0 + b_1 G^2$	MACHADO (1973)
M9	$V = b_0 + b_1 G^2 \bar{h}$	ROSOT (1989)
M10	$V = b_0 + b_1 G^2 h_{dom}$	SILVA (1979)
M11	$V = b_0 + b_1 G^2 + b_2 G$	SPURR (1952)
M12	$V = G \bar{h} / b_0 + b_1 d_g$	TAKATA (1959)
M13	$V = b_0 + b_1 \ln G \bar{h}$	FIGUEIREDO (1983)
M14	$V = b_0 + b_1 \ln G^2 \bar{h}$	FIGUEIREDO (1983)
M15	$V = b_0 + b_1 \ln G$	FIGUEIREDO (1983)
M16	$V = b_0 + b_1 \ln G^2$	FIGUEIREDO (1983)

V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura dominante (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); ln = logaritmo neperiano; b_i = coeficientes dos modelos.

Na Tabela 4 apresentam-se os modelos logarítmicos selecionados da literatura. As funções logarítmicas provocam um aumento da dispersão dos menores valores e uma aproximação da nuvem de pontos na região dos valores extremos que, em geral,

variam mais que os menores. Dessa forma, consegue-se satisfazer um dos condicionantes da regressão que exige a constância dos resíduos com a modificação da variável independente.

TABELA 4 - MODELOS LOGARÍTMICOS SELECIONADOS PARA ESTIMAR O VOLUME DO POVOAMENTO COM CASCA.

Nº	EQUAÇÕES	AUTORES
M1	$\ln V = b_0 + \ln G \bar{h}^{b_1} \ln Gh_{dom}^{b_2}$	UNG e OUELLET (1991) mod
M2	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln \bar{h}$	UNG e OUELLET (1991)
M3	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G \bar{h} + b_2 \ln Gh_{dom}$	UNG e OUELLET (1991)
M4	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G \bar{h}$	SPURR (1952)
M5	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 \bar{h}$	FIGUEIREDO FILHO (1983)
M6	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G$	SPURR (1952)
M7	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2$	SPURR (1952)
M8	$\ln V = b_0 + b_1 \ln GN$	Sugerido por: ROSOT (1989) e
M9	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 N$	por SCOLFORO (1997)
M10	$\ln V = b_0 + b_1 \ln G^2 h_{dom}$	SPURR (1952)
M11	$\ln V = b_0 + b_1 \ln Gh_{dom}$	SPURR (1952)
M12	$\ln V = b_0 + b_1 \ln \bar{d}^2 \bar{h}$	Sugerido por: ROSOT (1989) e
M13	$\ln V = b_0 + b_1 \ln N \bar{d}$	por SCOLFORO (1997)

V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); N = número de árvores por hectare; \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano; b_1 = coeficientes dos modelos.

3.6 MODELOS GERADOS PELO PROCESSO *STEPWISE*

Para aplicar o processo *Stepwise* foi usado um sistema integrado de administração, e apresentação de dados.

O processo inicia-se selecionando em primeiro lugar a variável explicativa mais fortemente correlacionada com a variável dependente. Em cada passo seguinte são incorporadas as variáveis independentes com maior coeficiente de correlação parcial com a dependente. Antes de cada inclusão de uma nova variável independente, a significância dessas é testada pela análise de variância do F parcial ao nível de $p < 0,01$. Desta forma, as variáveis cujo valor de F deixou de ser significativo são retiradas do modelo.

O processo *Stepwise* realizado pelo programa utilizado nesta pesquisa considera como critério para deter a inclusão de novas variáveis que o número de parâmetros ($p = \text{variáveis} + b_0$) se igualem ao valor do coeficiente de Mallows⁶ (C_p de Mallows): $E(C_p) = p$, citado por DRAPER e SMITH (1980). O C_p está muito relacionado com o R_{aj}^2 e também com o R^2 , e se obtém pela expressão:

$$C_p = \frac{SQ_{res_p}}{s^2} - (n - 2p)$$

onde:

p = número de coeficientes incluído b_0

SQ_{res_p} = soma de quadrado dos resíduos do modelo contendo p coeficientes

s^2 = quadrado médio de resíduos para a maior equação postulada contendo todas as variáveis independentes, e supõe-se uma estimativa confiável e não tendenciosa da variância do erro.

n = número de observações.

Se uma equação com p coeficientes é adequada, isto é, com um bom ajuste, então $E(SQ_{res_p}) = (n - p)\sigma^2$, porque se assume que $E(s^2) = \sigma^2$, se isso é verdade, a razão SQ_{res_p}/s^2 , tem o valor esperado de aproximadamente $(n - p)\sigma^2 / \sigma^2 = n - p$, dessa forma, e novamente aproximadamente, $E(C_p) = p$.

Aplicaram-se duas alternativas no processo *Stepwise*: 1) a geração de modelos aritméticos e semi-logarítmicos onde a variável dependente era o volume total por hectare e 2) com a variável dependente logaritmizada por meio do logaritmo neperiano. Em ambos os casos utilizaram-se todas as 58 variáveis independentes geradas, para a obtenção dos modelos.

3.7 FATOR DE CORREÇÃO PARA A DISCREPÂNCIA LOGARÍTMICA

Nas funções logarítmicas, a variável dependente não é a própria grandeza procurada, mas sim seu logaritmo. O antilogaritmo dos valores estimados pela

⁶ MALLOWS, C.L. Some comments on C_p . *Technometrics*, 15, 661- 675 pp. 1973

regressão, resulta em valores médios menores que os valores médios dos dados observados não-logaritmizados MEYER⁷, (1941) citado por FIGUEIREDO, (1982); DURLO, (2001). Para eliminar a discrepância logarítmica, devem-se corrigir os valores estimados, multiplicando os volumes já des-logaritmizados pela seguinte expressão, conhecida como Índice de Meyer (IM):

$$IM = e^{0,5.S_{yx}^2}$$

onde:

e = exponencial

S_{yx}^2 = quadrado de erro padrão da estimativa em unidades logarítmicas,

com o logaritmo neperiano, para o caso.

3.8 SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO

Usaram-se cinco critérios para a avaliação da qualidade dos ajustes e para a escolha da melhor equação. Esses critérios foram: coeficiente de determinação ajustado (R_{aj}^2), erro padrão da estimativa absoluto e em percentagem (S_{yx} e $S_{yx}\%$), valor de F para $p < 0,01$ e análise gráfica dos resíduos em percentagem.

Segundo REGAZZI e LEITE, (1993) os estimadores devem possuir propriedades tais como: não-tendenciosidade, consistência, exatidão (acurácia) e precisão. Chama-se precisão à proximidade de cada observação de sua própria média. A exatidão mede da proximidade de cada observação ao valor alvo que se procura atingir. Assim, um estimador preciso tem variância pequena, mas pode ter quadrado médio do erro = $E(\hat{e}-e)^2$, grande. Por outro lado, um estimador acurado (exato) é não-tendencioso e tem variância pequena, o que implica em quadrado médio do erro (QMerro), pequeno. Se o QMerro é pequeno, ele é conseqüentemente consistente porque se concentra completamente no seu alvo à medida que o tamanho da amostra aumenta. A não-tendenciosidade ou ausência de viés é uma qualidade desejável para

⁷ MEYER, A. A correction term for a systematic error occurring in the application of the logarithmic volume equation. **The Pennsylvania State Forest School: Research Paper**, v. 7, 1-7pp, 1941.

os estimadores. Entretanto, essa qualidade por si só é insuficiente como critério para selecionar um estimador. Outra qualidade desejável é que sejam eficientes, isto é, que tenham variância mínima.

Em seqüência descrevem-se cada um dos critérios considerados para a seleção da melhor equação.

3.8.1 Coeficiente de Determinação Ajustado

Coeficiente de determinação (R^2) ou coeficiente de determinação múltipla mede a correlação entre o valor estimado e o real, adota valores de $0 \leq R^2 \leq 1$ e indica a proporção da variação da variável dependente que é explicada pela regressão linear ajustada.

Segundo DRAPER e SMITH (1980), sendo o R^2 utilizado para medir o sucesso da equação de regressão em explicar a variação dos dados, deve-se ter certeza de que a melhora no coeficiente devido ao acréscimo de um novo termo apresenta real significância, e não é devido a que o número de parâmetros no modelo esteja se acercando ao ponto de saturação, igualando-se ao número de observações. Sendo assim o coeficiente de determinação é dado pela expressão:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

onde:

y_i = valor real de cada observação.

\hat{y}_i = valor estimado de cada observação.

\bar{y} = média aritmética, real.

Perante a necessidade de se comparar equações com diferente número de parâmetros optou-se por utilizar o coeficiente de determinação ajustado, o qual pondera o R^2 pelos graus de liberdade da regressão (numerador) e dos graus de liberdade totais (denominador).

O coeficiente de determinação ajustado é obtido a partir da expressão:

$$R_{aj}^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n - 1}{n - p}$$

onde:

p = número de coeficientes incluindo b_0

n = número de observações.

3.8.2 Erro Padrão da Estimativa

O erro padrão da estimativa é uma medida de dispersão entre os valores observados e estimados pela regressão, quanto menor o valor maior precisão da equação, portanto na comparação entre equações segundo o critério, aquela que apresente o menor valor é considerada melhor equação (SCHNEIDER, 1998).

O erro padrão da estimativa foi obtido a partir da raiz entre o quadrado médio do erro e a diferença entre o número de observações e o número de parâmetros de cada equação:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - p)}}$$

onde:

y_i = valor real de cada observação

\hat{y}_i = valor estimado de cada observação

n = número de observações

p = número de coeficientes de cada equação, incluindo b_0 .

Como os modelos testados e gerados apresentam-se nas formas aritméticas, semi-logarítmicas e logarítmicas e estas não são comparáveis diretamente, foi necessário recalcular as estimações para a variável de interesse e posteriormente transformar do erro padrão da estimativa em unidades relativas.

A fórmula utilizada para a estimativa foi:

$$S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde:

S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

\bar{y} = média aritmética real da variável dependente.

3.8.3 Análise Gráfica dos Resíduos

Para verificar a possível existência de tendenciosidade realizou-se a análise gráfica de resíduos em percentagem. Espera-se como adequado que a equação produza resíduos independentes, média igual a zero e variância constante (DRAPER e SMITH, 1980). Os resíduos foram calculados a partir da seguinte expressão:

$$\text{resíduo}_i \% = \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \cdot 100$$

onde:

y_i = volume real para cada observação;

\hat{y}_i = volume estimado para cada observação.

3.8.4 Teste F

O valor para o indicador F é encontrado pela razão:

$$F = \frac{QM_{\text{regressão}}}{QM_{\text{erro}}}$$

onde:

$QM_{\text{regressão}}$ = quadrado médio da regressão;

QM_{erro} = quadrado médio do erro;

é comparado com um valor de F tabelado em função dos graus de liberdade da regressão e do erro, a um determinado nível de probabilidade. Quando o valor F

calculado é maior que o F tabelado, comprova-se a significância da regressão para o nível de probabilidade desejado.

O valor de F, calculado pelos programas estatísticos para cada equação ajustada e ou gerada pelo processo *Stepwise*, apresenta-se associado à probabilidade do mesmo. Desta forma, consideram-se significativos aqueles valores de F para probabilidade $p < 0,01$.

3.9 VALIDAÇÃO DAS EQUAÇÕES SELECIONADAS

Para realizar o processo de validação, separam-se inicialmente 20 unidades amostrais da base de dados. Para extrair as parcelas utilizou-se sistematicamente o número de parcela retirando uma de cada dez, posteriormente verificou-se que nenhuma idade ficasse sem representação, substituindo uma idade repetida por uma que não esta representada. De acordo PRODAN *et al.* (1997), os quais sugerem que a amostra para a validação deve ser independente dos dados utilizados no ajuste, cobrindo a amplitude de idades, sítios e condições de manejo. A segunda instância do processo consistiu em estimar os volumes dessas parcelas pelas equações selecionadas como de melhor desempenho e comparar as estimações com os respectivos volumes reais, pelo teste de Qui-quadrado χ^2 . Utilizou-se um nível de confiança de 99% para estabelecer a existência de diferenças estatisticamente significativas para o teste.

$$\chi^2_{\text{CALCULADO}} = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{\hat{y}_i}$$

onde:

y_i = volume real de cada observação;

\hat{y}_i = volume estimado para cada observação.

Para verificar a possível existência de tendenciosidade realizou-se a análise gráfica de resíduos em percentagem seguindo a mesma forma de cálculo descrita no item 3.8.3. Os resíduos em valor absoluto também foram calculados como a diferença entre os metros cúbicos reais e os estimados ($y - \hat{y}$) para cada observação e apresentados em gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SUFICIÊNCIA AMOSTRAL

Foi realizada uma análise estatística descritiva para verificar a variabilidade das variáveis estruturais dos povoamentos, assim como o número de unidades amostrais necessárias para obter suas estimativas com um requerimento de 10% de precisão e 95% de confiança, nos valores médios estimados.

As variáveis consideradas foram: número de árvores (N), diâmetro à altura do peito médio (\bar{d}), volume total por hectare (V), área basal por hectare (G), altura total média (\bar{h}) e altura dominante (h_{dom}). São indicados assim mesmo os valores máximos, mínimos e a amplitude, para cada uma destas variáveis.

Os resultados indicaram que com relação à altura total média, à altura dominante e ao diâmetro à altura do peito médio, são suficientes poucas parcelas: 16, 15, e 41, respectivamente, conforme mostra a Tabela 5.

No entanto, para o caso do número de árvores por hectare, seriam necessárias 260 unidades amostrais.

Quanto ao volume total e a área basal por hectare, as 229 unidades amostrais que compõem a base de dados superaram amplamente o requerimento de 10% de precisão e 95% de confiança nos valores médios estimados.

O maior valor de coeficiente de variação (82%) esteve dado para a variável: número de árvores por hectare, com um mínimo de 67 árvores/ha aos 14 anos e um máximo de 12.984 árvores/ha aos 4 anos de idade do bracatingal.

O valor máximo de volume total, com casca, por hectare foi de 159,2 m³/ha correspondente a um povoamento de 9 anos e o valor mínimo foi de 10,8 m³/ha aos 11 anos, para uma amostra no Município de Almirante Tamandaré.

A amplitude para a altura total média foi de 6,8 metros, e para a altura dominante de 6 metros. Sendo essas variáveis que tiveram menor coeficiente de variação, em torno de 20% para os dois casos.

O diâmetro médio à altura do peito teve um mínimo de 3,6 cm em um bracatingal jovem, de 4 anos de idade, e um máximo de 20,6 cm num povoamento de 18 anos. A amplitude foi da ordem dos 17 cm, com 33% de coeficiente de variação.

A área basal por hectare apresentou uma amplitude de 22,45 m²/ha, variando entre 2,04 m²/ha e 24,49 m²/ha, com um coeficiente de variação de 34%, sendo esse similar, porém algo inferior ao do volume total com casca por hectare que foi de 39%.

TABELA 5 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E SUFICIÊNCIA AMOSTRAL PARA SEIS VARIÁVEIS ESTRUTURAIS.

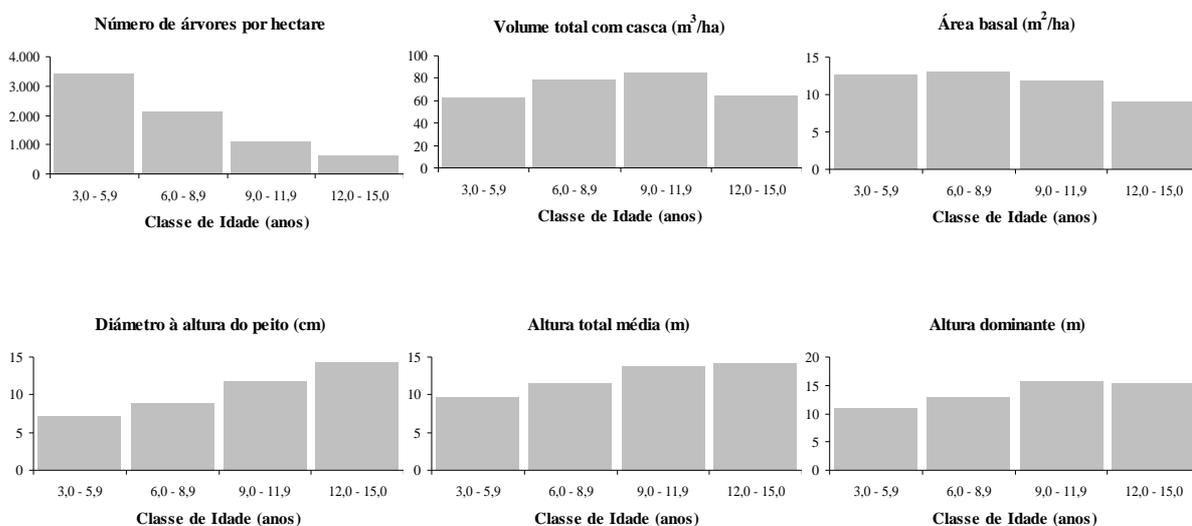
ESTATISTICAS	VARIÁVEIS					
	N (n° árvores/ha)	Volume total c/casca (m ³ /ha)	Area basal (m ² /ha)	DAP médio (cm)	Altura total média (m)	Altura dominante (m)
Média	1.769	75,3	11,86	10,56	12,4	13,8
Variância	2.119.829	855,5	16,12	12,04	6,4	7,5
Desvio padrão	1.456	29,2	4,02	3,47	2,5	2,7
Coeficiente de variação	82%	39%	34%	33%	20%	20%
Amplitude	12.917	148,4	22,45	17,00	13,2	15,3
Mínimo	67	10,8	2,04	3,60	6,8	6,0
Máximo	12.984	159,2	24,49	20,60	20,0	21,3
Erro de amostragem absoluto (95% conf.)	190	3,8	0,52	0,45	0,33	0,36
Intervalo de confiança da média (lim inf)	1.580,6	71,5	11,34	10,11	12,1	13,5
Intervalo de confiança da média (lim sup)	1.957,7	79,0	12,38	11,01	12,7	14,2
t (0,05;229)	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
LE (10%) *média	177	7,5	1,19	1,06	1,2	1,4
Amostras necessárias	260	58	44	41	16	15

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA DOS POVOAMENTOS

4.2.1 Descritores Gerais

Objetivando visualizar o comportamento das variáveis apresenta-se a informação em forma gráfica por classe de idade na Figura 2. Observa-se a evolução das variáveis e do próprio volume à medida que o bracatingal avança desde um povoamento praticamente puro, até os estágios mais avançados da sucessão natural da Floresta Ombrófila Mista. As bracatingas a partir dos 5 a 6 anos de idade do bracatingal vão sendo substituídas por outras espécies, principalmente pioneiras e facultativas.

FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO COMPORTAMENTO DE VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO POR CLASSE DE IDADE.



Um elevado número de árvores por hectare (N) nas idades iniciais (classe de 3,0 a 5,9 anos) e a sua paulatina diminuição à medida que o povoamento envelhece é tipicamente o comportamento de uma espécie pioneira, heliófita, tal como a bracatinga. Evidenciou-se uma intensa variabilidade nas idades iniciais, quando observada a densidade em função da idade, na Tabela 6. Esta situação surge como consequência das densidades iniciais diferentes que ocorreram nas diversas parcelas

que compõem a base de dados, fruto da amplitude de locais amostrados. No ANEXO II separaram-se os valores das variáveis por idade para verificar as tendências dentro das classes de idade.

TABELA 6 – MEDIAS POR IDADE (ANOS) DAS VARIÁVEIS ESTRUTURAIS PARA TODAS AS UNIDADES AMOSTRAIS SEM DISTINÇÃO DE CLASSE DE SÍTIO.

VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS POR IDADE							
Idade (anos)	N (árvores/ha)	Volume total c/c (m ³ /ha)	Area basal (m ² /ha)	DAP médio (cm)	Altura total média (m)	Altura dominante (m)	IMA (m ³ /ha/ano)
3	4.069	71,92	16,03	6,98	8,6	9,7	23,97
4	4.658	70,70	14,98	7,21	9,2	10,3	17,68
5	2.851	57,61	11,24	7,06	10,0	11,3	11,52
6	2.359	79,27	13,22	8,42	11,6	13,0	13,21
7	2.109	74,68	13,05	8,88	11,0	12,2	10,67
8	1.775	82,35	13,06	9,52	12,0	13,8	10,29
9	1.458	107,74	14,60	11,19	14,2	16,2	11,97
10	1.017	82,34	11,60	12,17	13,5	15,2	8,23
11	728	58,68	7,85	11,80	13,9	15,6	5,33
12	885	83,43	11,48	13,09	14,1	15,5	6,95
13	533	67,94	8,38	14,18	15,8	16,9	5,23
14	592	50,90	7,61	14,02	13,4	14,6	3,64
15	261	44,31	6,21	17,17	14,1	14,6	2,95

O incremento médio anual (IMA) é máximo nas primeiras etapas de crescimento dos bracatingais, declinando já a partir dos 4 anos de idade. Estas primeiras etapas se caracterizam fundamentalmente pela presença de um elevado número de fustes, cerca de 4.500 por hectare, com diâmetros médios reduzidos, em torno dos 7 cm e rápido incremento em altura total média, no entorno dos 9 metros.

O volume total por hectare foi máximo aos 9 anos com um valor de 107,74 m³/ha, médio para as três classes de sítio. Observou-se que tanto a altura total média, quanto a altura dominante atingiram valores máximos aos 13 anos de idade e posteriormente diminuíram a sua magnitude; esta diminuição estaria explicada porque não existem parcelas para a classe de sítio I, classe que detêm as árvores de maiores alturas, nas idades de 14 e 15 anos.

Uma vez classificadas as variáveis por índice de sítio e classe de idade, informação apresentada nas Tabelas 7 a 12, detectou-se para a variável N (Tabela 7) que a sua maior variância deu-se no sítio III, com um coeficiente de variação de 80%, para todas as classes de idade. Ao se comparar entre classes de idade, vê-se que nos bracatingais mais jovens (3,0 a 5,9 anos) foi onde se concentrou o desvio padrão mais

elevado, ocasionado justamente pelas densidades iniciais muito díspares. Assim, o número de bracatingas aumentou com a diminuição da qualidade do sítio.

TABELA 7 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA O NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE (N)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	3.107	978	31,5%	3.221	1.669	51,8%	4.165	3.343	80,3%
6,0 - 8,9	1.806	599	33,2%	2.082	694	33,3%	2.290	1.102	48,1%
9,0 - 11,9	1.095	423	38,7%	1.100	567	51,5%	1.124	699	62,2%
12,0 - 15,0	667			616	401	65,1%	654	457	69,9%

O diâmetro à altura do peito médio aumentou consistentemente com a idade do povoamento segundo pode ser observado na Tabela 8. O coeficiente de variação para essa variável apresentou tendências diferentes para cada classe de sítio e inclusive entre classes de idade. Ocorreu uma evidente redução do diâmetro médio dos melhores para os piores sítios e concomitantemente elevou-se a variabilidade nessa mesma direção. Assim; o sítio III apresentou o valor mais alto de desvio padrão de todas as classes consideradas (idade e sítio), e os menores valores de \bar{d} para os três índices de sítio, sendo compensados estes diâmetros com um maior número de fustes.

TABELA 8 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO MÉDIO, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO (cm)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	7,3	1,07	14,6%	7,2	1,37	18,9%	6,7	1,47	22,1%
6,0 - 8,9	10,1	2,04	20,2%	9,1	1,36	14,9%	7,8	1,25	15,9%
9,0 - 11,9	12,8	2,38	18,6%	11,5	1,91	16,6%	10,9	2,02	18,5%
12,0 - 15,0	13,3			14,1	2,60	18,5%	14,4	3,78	26,2%

As variáveis, altura total média (Tabela 9) e altura dominante (Tabela 10) incrementaram-se com o avanço da idade e com a qualidade de sítio com idêntica

tendência, em ambos os casos. A variabilidade aumentou em direção aos piores sítios. Para a altura total média, dentro de cada classe de sítio o coeficiente de variação incrementou-se a medida que o bracatingal envelheceu, porém com relação à altura dominante a tendência foi haver maior coeficiente de variação dentro das classes mais jovens. Deve-se lembrar que não existe dados para o sítio I nas idades de 14 e 15 anos, fato que poderia ter diminuído a variância dentro da última classe de idade.

TABELA 9 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA TOTAL MÉDIA, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

ALTURA TOTAL MÉDIA (m)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	11,4	0,75	6,6%	9,8	0,95	9,7%	8,4	1,01	12,0%
6,0 - 8,9	13,6	1,02	7,5%	11,8	0,99	8,4%	10,0	1,15	11,6%
9,0 - 11,9	16,1	1,39	8,7%	14,1	1,17	8,3%	11,0	0,78	7,1%
12,0 - 15,0	17,0			15,1	1,83	12,1%	13,0	1,61	12,4%

TABELA 10 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL ALTURA DOMINANTE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

ALTURA DOMINANTE (m)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	13,2	0,29	2,2%	10,9	1,07	9,8%	9,2	1,40	15,2%
6,0 - 8,9	15,9	1,23	7,8%	13,4	1,10	8,3%	10,7	0,92	8,7%
9,0 - 11,9	18,3	1,07	5,8%	15,7	1,15	7,3%	12,5	1,10	8,8%
12,0 - 15,0	19,3			16,7	1,29	7,7%	13,5	1,07	7,9%

O volume total por hectare (Tabela 11) apresentou valores e tendências similares à área basal por hectare (Tabela 12), quando analisados do ponto de vista da evolução entre os índices de sítio, aumentando seus valores concomitantemente com a melhoria na qualidade dos mesmos e para uma mesma classe de idade. TONON (1998) detectou a mesma tendência para as duas variáveis, isto é, sítios melhores com maiores valores de área basal e volume total por hectare.

TABELA 11 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS PARA O VOLUME TOTAL PARA LENHA, COM CASCA, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

VOLUME TOTAL PARA LENHA COM CASCA (m ³ /ha)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	69,2	13,39	19,3%	64,7	20,18	31,2%	53,7	15,89	29,6%
6,0 - 8,9	102,5	16,94	16,5%	84,1	18,43	21,9%	54,6	17,14	31,4%
9,0 - 11,9	116,1	25,29	21,8%	80,7	29,94	37,1%	59,9	34,69	57,9%
12,0 - 15,0	97,5			68,9	27,82	40,4%	57,9	23,44	40,5%

Para os sítios I e III o volume incrementou-se até a classe de 9,0 a 11,9 anos com valores de 116,1 e 59,9 m³/ha, respectivamente. No sítio II o maior valor: 84,1 m³/ha ocorreu na classe de idade anterior (6,0 – 8,9), posteriormente a tendência foi a declinar para todos os sítios, porém os valores mais elevados de área basal ocorreram em idades mais jovens influenciados possivelmente pelo grande número de indivíduos por superfície.

Segundo TONON (1998) uma explicação possível para a diminuição da área basal na segunda classe de idade se deve à alta taxa de mortalidade ocorrida nas primeiras fases de desenvolvimento do bracatingal, visível principalmente no sítio III onde passou de 12,7 para 10,7 m²/ha, não conseguindo compensar a perda em número de árvores com o crescimento em área individual.

TABELA 12 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DA VARIÁVEL AREA BASAL POR HECTARE, POR CLASSE DE SÍTIO E DE IDADE.

AREA BASAL (m ² /ha)									
CLASSES DE IDADE	SÍTIO I			SÍTIO II			SÍTIO III		
	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação	Média	Desvio padrão	Coef. de variação
3,0 - 5,9	11,7	2,19	18,7%	13,0	4,21	32,3%	12,7	4,19	33,0%
6,0 - 8,9	14,5	2,09	14,4%	13,8	2,77	20,0%	10,7	2,84	26,4%
9,0 - 11,9	14,0	2,91	20,8%	11,2	4,15	37,2%	10,4	5,85	56,5%
12,0 - 15,0	10,6			9,0	3,85	42,8%	8,7	3,32	37,9%

O incremento em volume ocorreu apesar da relativa perda em área basal devido ao crescimento em altura total média. A posterior diminuição do volume total à

medida que o bracatingal envelhece explica-se pela contínua mortalidade das bracatingas que saem do sistema dando lugar à sucessão natural da Floresta com Araucária (Floresta Ombrofila Mista).

CAMPOS (1986) avaliando a produtividade de bracatingais tradicionais na região de Colombo no Estado do Paraná observou que o povoamento através do tempo apresentou uma fase crescente e outra decrescente, atingindo seu máximo no sétimo ano de idade com um volume de 135,8 m³/ha. Essa tendência foi similar no presente trabalho já que o máximo deu-se no nono ano com um valor médio para todas as parcelas de 107,74 m³/ha (Tabela 6). Tal diferença entre trabalhos radicou-se principalmente na quantidade e na origem da informação utilizada para a estimativa do valor médio. A presente base de dados compõe-se de parcelas levantadas em 14 municípios onde um deles é o município de Colombo, incluindo desta forma uma amplitude de sítios maior e conseqüentemente uma variabilidade superior que alterou definitivamente o valor da média.

Tanto para o caso do volume quanto da área basal o coeficiente de variação foi relativamente alto, sempre superior a 14% chegando a superar 55% nas classes de idade maiores e aumentando gradativamente para menores qualidades de sítio.

4.2.2 Análise Exploratória dos Dados

Com a finalidade de detectar valores discrepantes na base de dados, fez-se uma análise exploratória dos mesmos para evitar contaminações que poderiam gerar valores sob estas condições. A presença de valores discrepantes (*outliers*) certamente prejudicaria o ajuste e se eliminados, não acarretariam prejuízo para a equação gerada.

Desta forma, resultaram identificadas 12 unidades amostrais, perante a impossibilidade de ter acesso às planilhas de campo originais para verificar prováveis erros de digitação, optou-se por retirá-las da base de dados.

4.3 MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

Após análise exploratória dos dados e eliminação de valores discrepantes procedeu-se a análise de correlação. Procurou-se com a mesma determinar o grau de associação entre as variáveis, medindo a covariabilidade em pares, identificando separadamente as duas variáveis dependentes consideradas: volume total por hectare (V) e logaritmo neperiano do volume total por hectare ($\ln V$).

Detectou-se que a idade e o número de árvores por hectare tinham uma correlação muito baixa com a variável dependente, razão que levou a buscar várias transformações com o objetivo de melhorar essas correlações.

As Tabelas 13 e 14 apresentam um resumo da matriz de correlação linear simples, mostrando a correlação (r) de todas as variáveis independentes consideradas com as duas variáveis dependentes utilizadas; complementarmente, no ANEXO III inclui-se a tabela completa.

A maior correlação linear simples (r) do volume total, com casca por hectare (V) deu-se com a variável combinada entre área basal e altura total média (\bar{Gh}), com $r = 0,998$. Pode-se observar graficamente tal correlação na Figura 3 onde todos os valores aparecem alinhados com uma relação direta e positiva com o volume e com uma pequena dispersão.

A segunda variável altamente correlacionada com o volume (V) resultou ser também a combinação entre a área basal e altura dominante (Gh_{dom}), com um coeficiente de correlação (r) igual a 0,987.

Graficamente a distribuição para esta segunda variável mostrou-se muito similar à da variável \bar{Gh} , porém com uma dispersão levemente maior. As correlações com o $\ln(V)$ das duas variáveis combinadas, logaritmizadas apresentaram igual tendência; dessa forma tem-se 0,998 para $\ln(\bar{Gh})$ e 0,990 para $\ln(Gh_{dom})$. Esses elevados valores de correlação estariam indicando que as variáveis \bar{Gh} e Gh_{dom} deveriam estar presentes no processo de construção do melhor modelo, como variáveis independentes, tanto para o volume total por hectare como para seu logaritmo, como variável dependente.

TABELA 13 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES DE TODAS AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM A VARIÁVEL DEPENDENTE (V) VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m³/ha).

CORRELAÇÕES POSITIVAS COM (V)		CORRELAÇÕES NEGATIVAS COM (V)	
Variáveis	r	Variáveis	r
V	1,000	1 / N	-0,343
$G\bar{h}$	0,998	ln (1 / N)	-0,235
Gh_{dom}	0,987	1 / I	-0,099
$G^2\bar{h}$	0,951	ln (1 / D)	-0,079
ln V	0,950		
ln $G\bar{h}$	0,949		
G^2h_{dom}	0,945		
ln Gh_{dom}	0,935		
ln $G\bar{h}^2$	0,923		
$G\bar{h}^2$	0,923		
Gh_{dom}^2	0,921		
ln Gh_{dom}^2	0,907		
ln $G^2\bar{h}$	0,903		
ln G^2h_{dom}	0,895		
G	0,837		
G^2	0,808		
ln G^2	0,800		
ln G	0,800		
ln GNh_{dom}	0,560		
ln G^2N	0,559		
h_{dom}^2	0,461		
h_{dom}	0,454		
ln GN	0,452		
ln $N\bar{d}$	0,445		
ln h_{dom}	0,437		
ln h_{dom}^2	0,437		
\bar{h}	0,435		
ln \bar{h}^2	0,433		
ln \bar{h}	0,433		
\bar{h}^2	0,429		
GNh_{dom}	0,384		
$N\bar{d}$	0,326		
ln $\bar{d}h_{dom}$	0,319		
G^2N	0,309		
$\bar{d}h_{dom}$	0,306		
ln \bar{d}^2h_{dom}	0,275		
ln $\bar{d}^2\bar{h}$	0,268		
ln N	0,235		
\bar{d}^2h_{dom}	0,225		
$\bar{d}^2\bar{h}$	0,207		
GN	0,206		
ln d_g	0,202		
ln d_g^2	0,202		
ln $\bar{d}d_g$	0,201		
ln \bar{d}^2d_g	0,200		
ln \bar{d}^2	0,199		
ln \bar{d}	0,199		
\bar{d}	0,163		
d_g	0,163		
\bar{d}^2	0,125		
$\bar{d}d_g$	0,124		
d_g^2	0,123		
\bar{d}^2d_g	0,091		
ln I	0,079		
I	0,058		
N	0,040		

V = volume total com casca por hectare (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

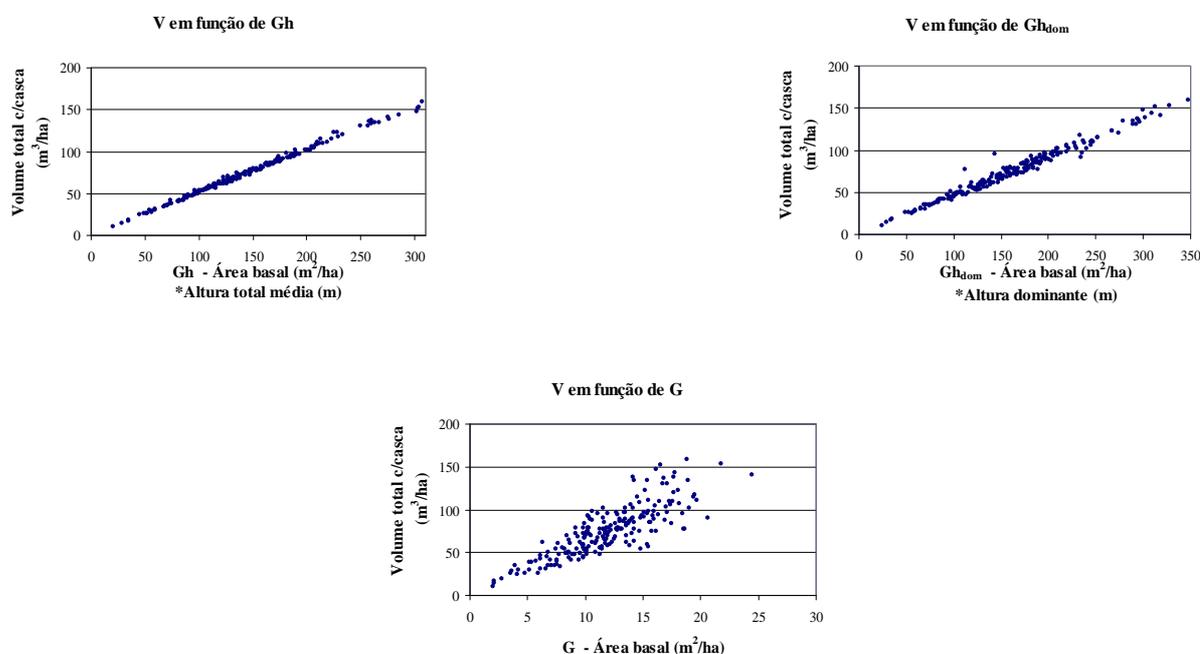
TABELA 14 – COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES DE TODAS AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES COM A VARIÁVEL DEPENDENTE $\ln(V)$ LOGARITMO NEPERIANO DO VOLUME TOTAL, C/C POR HECTARE (m^3/ha).

CORRELAÇÕES POSITIVAS COM ($\ln V$)		CORRELAÇÕES NEGATIVAS COM ($\ln V$)	
Variáveis	r	Variáveis	r
$\ln V$	1,000	$1/N$	-0,504
$\ln G\bar{h}$	0,998	$\ln(1/N)$	-0,363
$\ln Gh_{dom}$	0,990	I	-0,039
$\ln G^2\bar{h}$	0,974	$\bar{d}^2 d_g$	-0,031
$\ln G^2 h_{dom}$	0,969	$1/I$	-0,013
$G\bar{h}$	0,947	$\ln I$	-0,014
Gh_{dom}	0,942		
$\ln G\bar{h}^2$	0,933		
$\ln Gh_{dom}^2$	0,926		
$\ln G$	0,892		
$\ln G^2$	0,892		
$G^2\bar{h}$	0,866		
$G^2 h_{dom}$	0,862		
G	0,851		
Gh_{dom}^2	0,842		
$G\bar{h}^2$	0,835		
G^2	0,769		
$\ln GNh_{dom}$	0,680		
$\ln G^2 N$	0,679		
$\ln GN$	0,577		
$\ln N\bar{d}$	0,570		
GNh_{dom}	0,423		
$N\bar{d}$	0,406		
h_{dom}^2	0,386		
h_{dom}	0,383		
$\ln h_{dom}$	0,371		
$\ln h_{dom}^2$	0,371		
$\ln N$	0,363		
$\ln \bar{h}$	0,353		
$\ln \bar{h}^2$	0,353		
\bar{h}	0,350		
\bar{h}^2	0,339		
$G^2 N$	0,335		
GN	0,261		
$\ln \bar{d}h_{dom}$	0,217		
$\bar{d}h_{dom}$	0,192		
$\ln \bar{d}^2 h_{dom}$	0,167		
$\ln \bar{d}^2 \bar{h}$	0,159		
N	0,123		
$\bar{d}^2 h_{dom}$	0,104		
$\ln d_g^2$	0,091		
$\ln d_g$	0,091		
$\ln \bar{d}d_g$	0,089		
$\ln \bar{d}^2 d_g$	0,089		
$\ln \bar{d}^2$	0,087		
$\ln \bar{d}$	0,087		
$\bar{d}^2 \bar{h}$	0,085		
d_g	0,046		
\bar{d}	0,044		
$\ln(1/I)$	0,014		
$\bar{d}d_g$	0,003		
d_g^2	0,003		
\bar{d}^2	0,003		

V = volume total com casca por hectare (m^3/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m^2/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); \ln = logaritmo neperiano.

Os resultados são coincidentes com os obtidos em várias pesquisas que procuraram correlações com o volume total, independentemente da espécie e região de trabalho. SPURR (1952), por exemplo, encontrou para *Pseudotsuga menziesii* (*Douglas-fir*), como a melhor combinação de duas variáveis justamente $G\bar{h}$ com $r = 0,990$ e 6% de desvio padrão da estimativa para o volume total. ROSOT (1989) obteve indistintamente para as três séries de dados de *Pinus taeda* com as quais trabalhou como as variáveis mais altamente correlacionadas com o volume: a combinação Gh_{dom} com valores de r entre 0,996 e 0,997 e a combinação $G\bar{h}$ com r variando entre 0,990 e 0,992.

FIGURA 3 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL POR HECTARE EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS ÁREA BASAL, ÁREA BASAL COM A ALTURA TOTAL MÉDIA E ÁREA BASAL COM A ALTURA DOMINANTE.



A variável na sua forma pura mais associada com o volume do povoamento foi a área basal com um valor de 0,837 em relação ao volume (V), de 0,851 com $\ln(V)$ e para $\ln(G)$ com $\ln(V)$ de 0,892. Coincidentemente, SPURR (1952) também detectou tal associação para a espécie antes mencionada com uma correlação algo superior, de 0,949. Observando a Figura 3 no gráfico correspondente à área basal vê-se que a dispersão aumenta em forma de leque à medida que se incrementa a área basal,

condição que provavelmente esteja relacionada a sítios de menor qualidade e, por conseguinte a altura média e a altura dominante expliquem essa parte da variação que a área basal sozinha não consegue explicar. A variável $G\bar{h}$ seria a melhor preditora do volume não fosse a necessidade do fator de forma f .

A altura total média (\bar{h}) quando combinada com a área basal apresentou uma correlação mais alta que a combinação da área basal com a altura dominante (h_{dom}). Todavia, quando comparada individualmente com o volume apresentou uma correlação inferior que a altura dominante, sendo de 0,435 para \bar{h} e 0,454 para h_{dom} . O padrão de associação com o volume logaritmizado ($\ln(V)$) foi similar, e com valores algo inferiores. Para h_{dom} e $\ln(h_{dom})$ as correlações foram de 0,383 e 0,371, respectivamente, e de 0,353 com $\ln(\bar{h})$ e 0,350 com \bar{h} .

A tendência da associação entre V com h e h_{dom} visualiza-se de forma crescente, porém com muita dispersão dos dados para ambas as alturas na correspondente representação gráfica da Figura 4.

As correlações entre o volume e a altura geralmente são baixas, porém OLIVEIRA (2003) encontrou uma correlação de 0,850 da altura média com o volume, para o conjunto de todas as espécies em fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual em Minas Gerais. ROSOT (1989) obteve valores muito baixos de correlação da altura com o volume, entre 0,283 a 0,305, e valores relativamente médios da h_{dom} com o volume de 0,618 a 0,629, para as três séries de dados com as quais trabalhou em plantações de *Pinus taeda*.

FIGURA 4 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL, COM CASCA POR HECTARE EM RELAÇÃO À ALTURA TOTAL MÉDIA E À ALTURA DOMINANTE



O diâmetro à altura do peito médio (\bar{d}) e o diâmetro médio quadrático (d_g) mostraram correlações extremadamente baixas, tanto com o volume, quanto com a sua forma logaritmizada. Observa-se na Figura 5 a grande dispersão dos valores dessas variáveis quando graficados com relação ao volume, reflexo das baixas associações.

FIGURA 5 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE EM RELAÇÃO AO DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO MÉDIO E AO DIÂMETRO MÉDIO QUADRÁTICO.



O valor da correlação linear simples tanto do \bar{d} quanto do d_g com o volume (V) foi de 0,163 para as duas variáveis, com idêntico valor. Com a variável dependente logaritmizada ($\ln(V)$) foi de 0,046 para o d_g e de 0,044 para o \bar{d} . Quando as variáveis independentes foram logaritmizadas aumentaram levemente a correlação com relação ao volume, passando a ser de 0,202 para o $\ln(d_g)$ e de 0,199 para o $\ln(\bar{d})$. Em relação ao $\ln(V)$ as correlações também aumentaram, embora continuassem com valores muito baixos, de 0,091 para o $\ln(d_g)$ e de 0,087 para o $\ln(\bar{d})$.

A idade do povoamento (I) e o número de árvores por hectare (N), de todas as 58 variáveis geradas, foram as variáveis independentes com a menor correlação com o volume. Os valores de r resultaram de 0,058 para a idade e de 0,040 para a densidade. No gráfico correspondente à idade na Figura 6 observam-se amplas dispersões dentro de cada idade, destacando-se as idades de 9 e de 11 anos: no primeiro caso o volume oscila entre 31,02 e 159,21 m^3/ha ; para os 11 anos tem-se um mínimo de 10,79 m^3/ha e um máximo de 134,68 m^3/ha . As correlações extremadamente baixas refletiram tal amplitude de variação. A partir da logaritmização das variáveis dependentes e independentes houve uma melhora da correlação da variável dependente com relação ao N (0,363 para $\ln(N)$ e 0,123 para N), porém as correlações da idade e do logaritmo

neperiano desta com a variável $\ln(V)$ continuaram pequenas e negativas, assim resultaram em $-0,039$ para I e de $-0,014$ para $\ln(I)$. As correlações negativas com a idade são reflexo da acentuada mortalidade das bracatingas, em função de sua condição de pioneira, provocando efetivamente a redução do volume total. As bracatingas que sobrevivem não preenchem os espaços deixados pelas que morrem, esses espaços são preenchidos por outras espécies características dos estágios intermediários da sucessão natural da Floresta Ombrófila Mista.

Quando esboçado o gráfico do volume em função do número de árvores por hectare (Figura 6), os dados adquirem uma distribuição quase circular, com alguns valores dispersos relacionados com a alta densidade inicial de alguns dos povoamentos mensurados, indicando independência ($r = 0$), ou seja, ausência de relação linear.

FIGURA 6 – DISPERSÃO DO VOLUME TOTAL POR HECTARE EM RELAÇÃO À IDADE E AO NÚMERO DE ÁRVORES POR HECTARE



4.4 AJUSTE DE MODELOS TRADICIONAIS

4.4.1 Modelos Aritméticos e Semi-logarítmicos

Nesta etapa foram ajustados doze modelos de natureza aritmética e quatro semi-logarítmica, para o volume total com casca por hectare como variável dependente.

Em função dos resultados da matriz de correlação linear simples do item 4.3, escolheram-se modelos que apresentavam variáveis mais altamente correlacionadas

com o volume, sendo descartados os modelos com variáveis tais como o número de árvores por hectare, a idade e o diâmetro à altura de peito médio.

A base de dados utilizada para o ajuste de todos os modelos está apresentada no ANEXO V. As estimativas dos coeficientes e as principais estatísticas para esses modelos são apresentadas na Tabela 15 onde as equações são denominadas pela combinação da letra M e do número em seqüência de 1 a 16, resultando: M1 ... M16.

TABELA 15 – EQUAÇÕES ARITMÉTICAS E SEMI-LOGARÍTMICAS AJUSTADAS, COM SUAS RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL, COM CASCA, POR HECTARE (m³/ha).

N°	EQUAÇÕES	R ²			
		AJUSTADO	S _{yx}	S _{yx} %	F
M1	$V = 0,0525579G^{1,00062} \cdot h_{dom}^{0,950146}$	0,92087	8,2546	11,0252	1.211,23
M2	$V = 0,554721G^{1,00007} \cdot \bar{h}^{0,970442}$	0,87863	10,2228	13,6539	753,90
M3	$V = -0,195987 + 0,499727.G\bar{h} + 0,19158.G + 0,00919723.\bar{h}$	0,99582	1,8974	2,5342	16.514,24
M4	$V = -7,3761 + 0,394063.Gh_{dom} + 0,918498G + 0,544475.h_{dom}$	0,97558	4,5855	6,1246	2.770,86
M5	$V = 0,529496 + 0,511161.G\bar{h}$	0,99566	1,9329	2,5816	47.733,35
M6	$V = 1,32442 + 0,453706.Gh_{dom}$	0,97475	4,6632	6,2283	8.029,20
M7	$V = 2,81164 + 6,06798.G$	0,69922	16,0933	21,4947	484,53
M8	$V = 37,2388 + 0,239191.G^2$	0,65117	17,3311	23,1480	389,27
M9	$V = 32,501 + 0,0220805.G^2\bar{h}$	0,90407	9,0886	12,1391	1.961,21
M10	$V = 32,6515 + 0,0197381.G^2h_{dom}$	0,89311	9,5939	12,8138	1.738,86
M11	$V = -1,62629 - 0,0353372.G^2 + 6,90986.G$	0,69853	16,1118	21,5194	241,97
M12	$V = G\bar{h}/1,93794 - 0,0255869.d_g$	0,99564	1,9385	2,5892	47.452,74
M13	$V = -229,973 + 62,3166.\ln G\bar{h}$	0,90053	9,2547	12,3609	1.884,09
M14	$V = -154,836 + 31,4957.\ln G^2\bar{h}$	0,81382	12,6614	16,9110	910,21
M15	$V = -59,8149 + 56,0861.\ln G$	0,63814	17,6516	23,5761	367,82
M16	$V = -59,8149 + 29,0431.\ln G^2$	0,63814	17,6516	23,5761	367,82

V = volume total com casca (m³/ha); G = área basal (m²/ha); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura média dominante (m); ln = logaritmo neperiano; S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

Três equações, do conjunto de 16 ajustadas resultaram em valores de F superiores a 10.000, altamente significativos para $p < 0,01$, indicando que esses modelos podem explicar uma alta proporção da variabilidade observada para a variável volume total com casca, por hectare.

As estatísticas dos três melhores modelos selecionados da literatura foram muito semelhantes, variando o erro padrão da estimativa entre 2,534% a 2,589%, com a variável independente $G\bar{h}$, presente nos três casos. Os valores do melhor ajuste, medido pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) foi de 0,9958, apresentado pela equação M3, a fórmula australiana de STOATE, (1945); no segundo lugar ficou a equação M5 da variável combinada de SPURR, (1952) com $R^2_{aj} = 0,9957$ e no terceiro lugar o modelo de TAKATA (1959) - M12, com $R^2_{aj} = 0,9956$. Este último modelo foi o único que teve bom desempenho incluindo a variável d_g .

A distribuição gráfica de resíduos está apresentada na Figura 7, para as equações M1 a M8 e na Figura 8 para as oito restantes: M9 a M16.

Para os melhores modelos: M3, M5 e M12, a distribuição dos pontos ao longo da linha estimativa foi adequada para os volumes superiores a $45 \text{ m}^3/\text{ha}$; para volumes menores a esse valor, os pontos tenderam a se dispersar chegando a variar entre $\pm 8\%$ para M3 e M5, e entre 9% e -7% para M12.

Os demais modelos mostraram um desempenho inadequado, apresentando como característica comum o fato de não terem como variável explicativa a combinação $G\bar{h}$, mesmo que presentes as variáveis puras G e \bar{h} , como por exemplo, no modelo M2, de UNG e OUELLET, (1991); ou quando substituída pela combinação Gh_{dom} nos modelos M1, M4 e M6. As distribuições gráficas dos resíduos percentuais em função do volume para essas equações apresentaram diversos tipos de tendenciosidade.

As equações lineares que incluíram a variável G como a M7 e a M11, na distribuição de resíduos mostraram variância crescente com a diminuição do volume, de forma que os resíduos se abrem em forma de leque à esquerda, demonstrando a heterogeneidade da variância para essa variável independente. Este efeito foi corrigido ao se incluir o termo ao quadrado G^2 , porém surgiram outros inconvenientes. As

equações onde esteve presente a variável G^2 mostraram, todas, correlação serial positiva entre os resíduos, principalmente no que se refere à equação M8, isto é, a correlação entre os erros tem sempre a mesma tendência, graficamente é visualizado como um padrão de superestimativa à esquerda e subestimativa à direita, como se observa na Figura 7 para a equação M8. Para as equações M9 e M10 na Figura 8 se visualiza forte superestimativa dos volumes menores.

As equações semi-logarítmicas, desde M13 a M16 tiveram ajustes comparativamente baixos, oscilando os valores de R^2_{aj} entre 0,6381 e 0,9005, elevados valores de $S_{yx}\%$: de 12,36 a 23,58, e menores valores de F para $p < 0,01$, em comparação com as outras 12 equações, além disso a distribuição dos resíduos foi tendenciosa.

FIGURA 7 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS AJUSTADOS: M1 A M8.

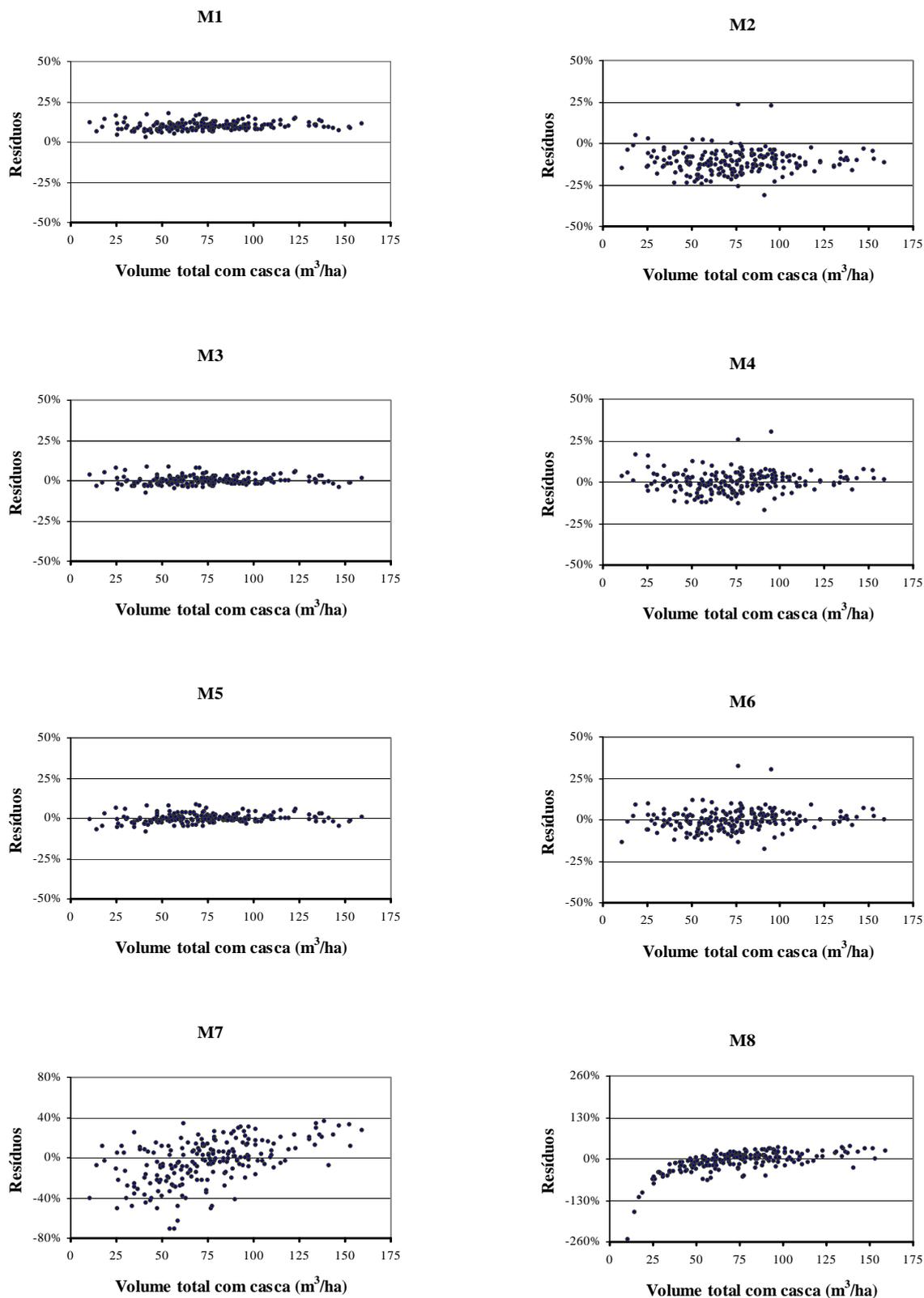
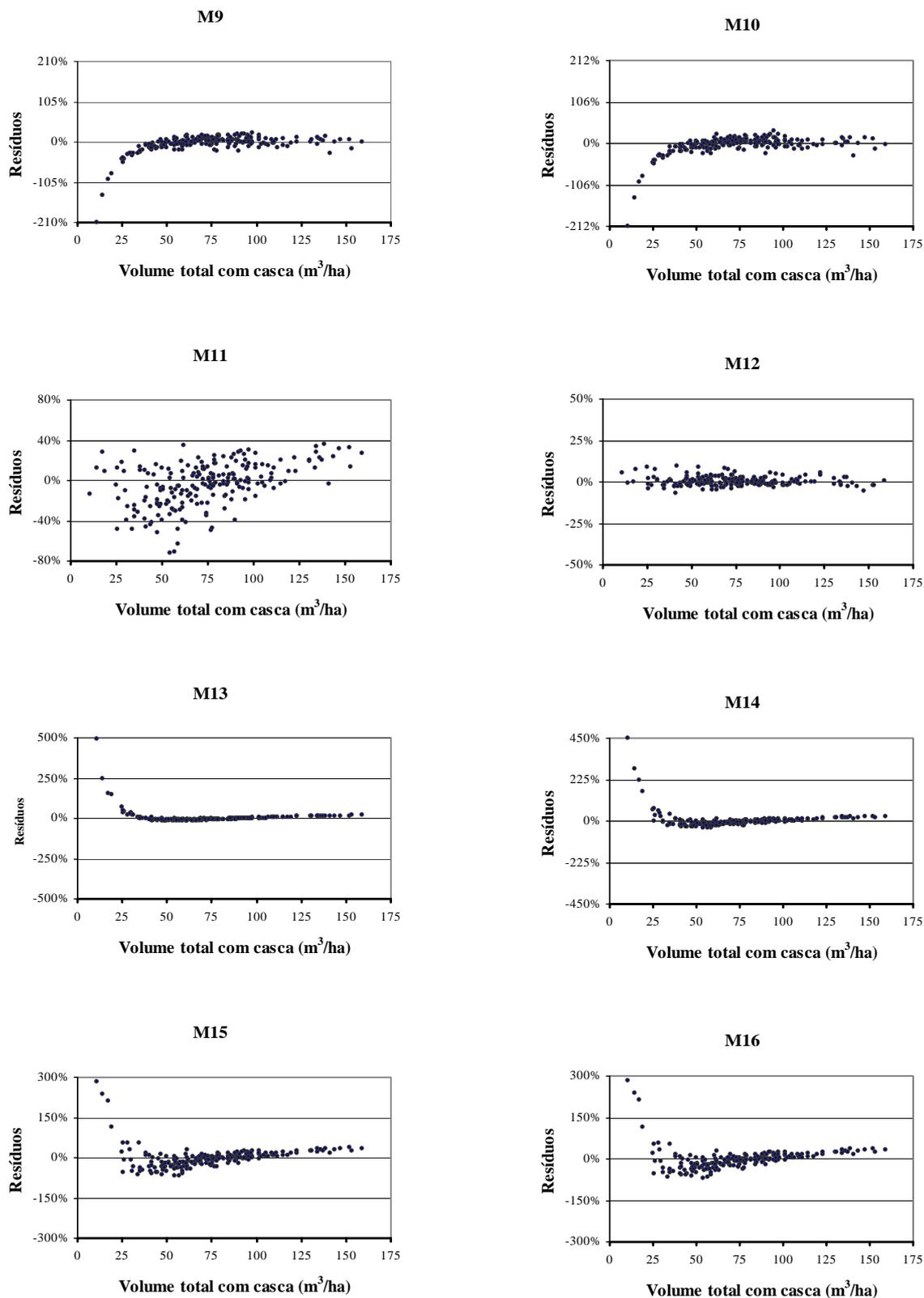


FIGURA 8 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS AJUSTADOS: M9 A M12 E SEMI-LOGARÍTMICOS: M13 A M16.



4.4.2 Modelos Logarítmicos

Foram testados treze modelos logarítmicos selecionados da literatura visando o objetivo proposto, de se obter uma equação que estime adequadamente o volume total com casca por hectare, de povoamentos nativos de bracatinga, para a R.M.C.

As estimativas dos coeficientes e as principais estatísticas de todos os modelos testados nesta etapa são apresentadas na Tabela 16. A distribuição gráfica dos resíduos é mostrada na Figura 9 para as equações M1 a M8 e na Figura 10 para as cinco restantes: M9 a M13. Salienta-se que prévio cálculo das estatísticas, os valores logarítmicos foram corrigidos pelo Índice de Meyer, e recalculados para a variável de interesse, o volume total com casca em m³/ha.

TABELA 16 - EQUAÇÕES LOGARITMICAS AJUSTADAS COM SUAS REPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA A ESTIMATIVA DO VOLUME TOTAL, COM CASCA, POR HECTARE (m³/ha).

Nº	EQUAÇÕES	R ²	ÍNDICE		F	
		AJUSTADO	DE MEYER	S _{yx}		S _{yx} %
M1	$\ln V = -0,67539 + \ln G \bar{h}^{0,786772} \ln Gh_{dom}^{0,211879}$	0,99724	1,000233	1,5403	2,0572	37.643,63
M2	$\ln V = -0,604207 + 1,00126 \ln G + 0,974921 \ln \bar{h}$	0,99586	1,000352	1,8873	2,5208	25.037,58
M3	$\ln V = -0,669104 + 0,786021 \ln G \bar{h} + 0,210509 \ln Gh_{dom}$	0,99727	1,000230	1,5333	2,0479	37.987,75
M4	$\ln V = -0,648103 + 0,996825 \ln G \bar{h}$	0,99566	1,000364	1,9335	2,5825	47.700,61
M5	$\ln V = 0,456533 + 0,517147 \ln G^2 \bar{h}$	0,92903	1,005091	7,8172	10,4409	2.723,87
M6	$\ln V = 1,94446 + 0,95101 \ln G$	0,69953	1,020723	16,0849	21,4835	485,25
M7	$\ln V = 1,94446 + 0,475505 \ln G^2$	0,69953	1,020723	16,0849	21,4835	485,25
M8	$\ln V = 2,14747 + 0,217072 \ln GN$	0,12909	1,069072	27,3844	36,5755	31,83
M9	$\ln V = 1,89804 + 0,194393 \ln G^2 N$	0,96855	1,055487	5,2039	6,9505	6.406,66
M10	$\ln V = 0,456854 + 0,509652 \ln G^2 h_{dom}$	0,91671	1,006077	8,4687	11,3111	2.290,24
M11	$\ln V = -0,632819 + 0,972504 \ln Gh_{dom}$	0,97455	1,002043	4,6816	6,2529	7.964,59
M12	$\ln V = 3,60681 + 0,0876044 \ln \bar{d}^2 \bar{h}$	0,05744	1,102491	28,4887	38,0504	13,68
M13	$\ln V = 0,175707 + 0,427224 \ln N \bar{d}$	0,12178	1,069965	27,4991	36,7287	29,84

$\ln V$ = logaritmo neperiano do volume total com casca (m³/ha); N = número de árvores por hectare; G = área basal (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

Três modelos apresentaram valores de ajuste e precisão melhores que os aritméticos. Um quarto modelo resultou com valores idênticos a um dos modelos aritméticos selecionados da literatura, e os nove restantes tiveram piores desempenhos.

A equação da variável combinada de SPURR (1952) quando logaritimizada M4 mostrou valores de $R^2_{aj} = 0,9957$, $S_{yx} = 1,934 \text{ m}^3/\text{ha}$, $S_{yx}\% = 2,58$ e distribuição percentual dos resíduos idênticos à equação aritmética.

Do grupo de três melhores equações, o modelo de UNG e OUELLET (1991) logaritimizado- M2 ficou em último lugar com $R^2_{aj} = 0,99586$ e 2,521% de erro padrão da estimativa.

Quando as variáveis explicativas, logaritmo neperiano da área basal e logaritmo neperiano da altura total média foram substituídas pelas variáveis combinadas $\ln(G\bar{h})$ e $\ln(Gh_{dom})$ nas equações M1 e M3, os valores de ajuste e precisão melhoraram, porém a melhora mais interessante deu-se na distribuição dos resíduos conseguindo diminuir a superestimativa dos volumes $< 45 \text{ m}^3/\text{ha}$, de $\pm 8\%$ para 8% a -5%.

Nesta oportunidade testaram-se também quatro modelos que incluíam variáveis explicativas a partir de combinações com número de árvores, M8 e M9, e com o \bar{d} , M12 e M13. Os valores de ajuste foram muito baixos a exceção da equação M9 a qual inclui a variável explicativa $\ln(G^2N)$, cujo valor de coeficiente de determinação ajustado foi de 0,9686 e o $S_{yx}\%$: 6,95. As restantes três equações tiveram valores de R^2_{aj} entre 0,057 e 0,122 e erros S_{yx} muito altos de 36,57% a 38,05%. Quanto aos resíduos, esses quatro modelos, sem exceções, apresentaram forte tendenciosidade do tipo correlação serial positiva entre os erros (Figura 9: M8, e Figura 10: M9, M12 e M13).

FIGURA 9 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS AJUSTADOS: M1 A M8.

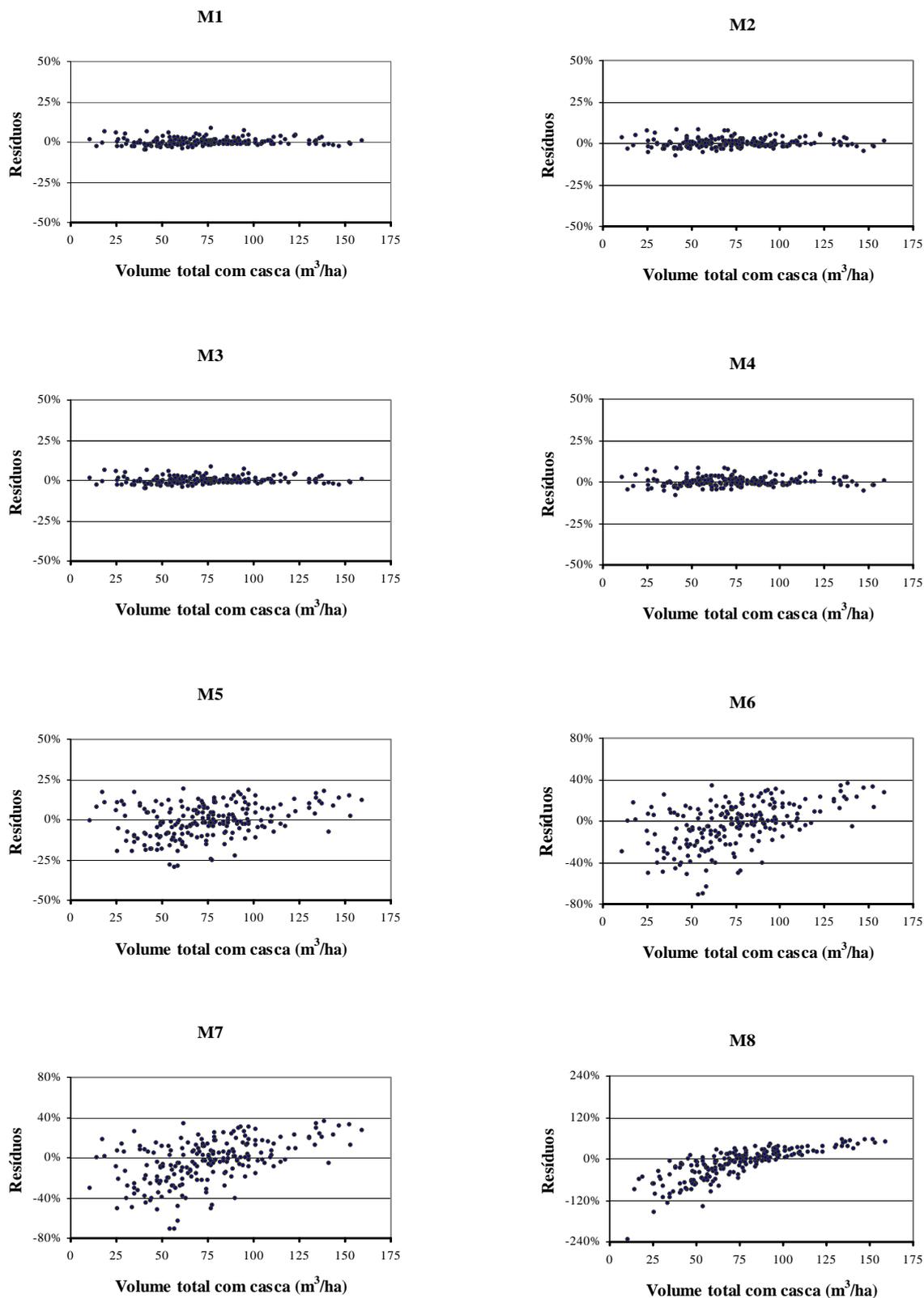
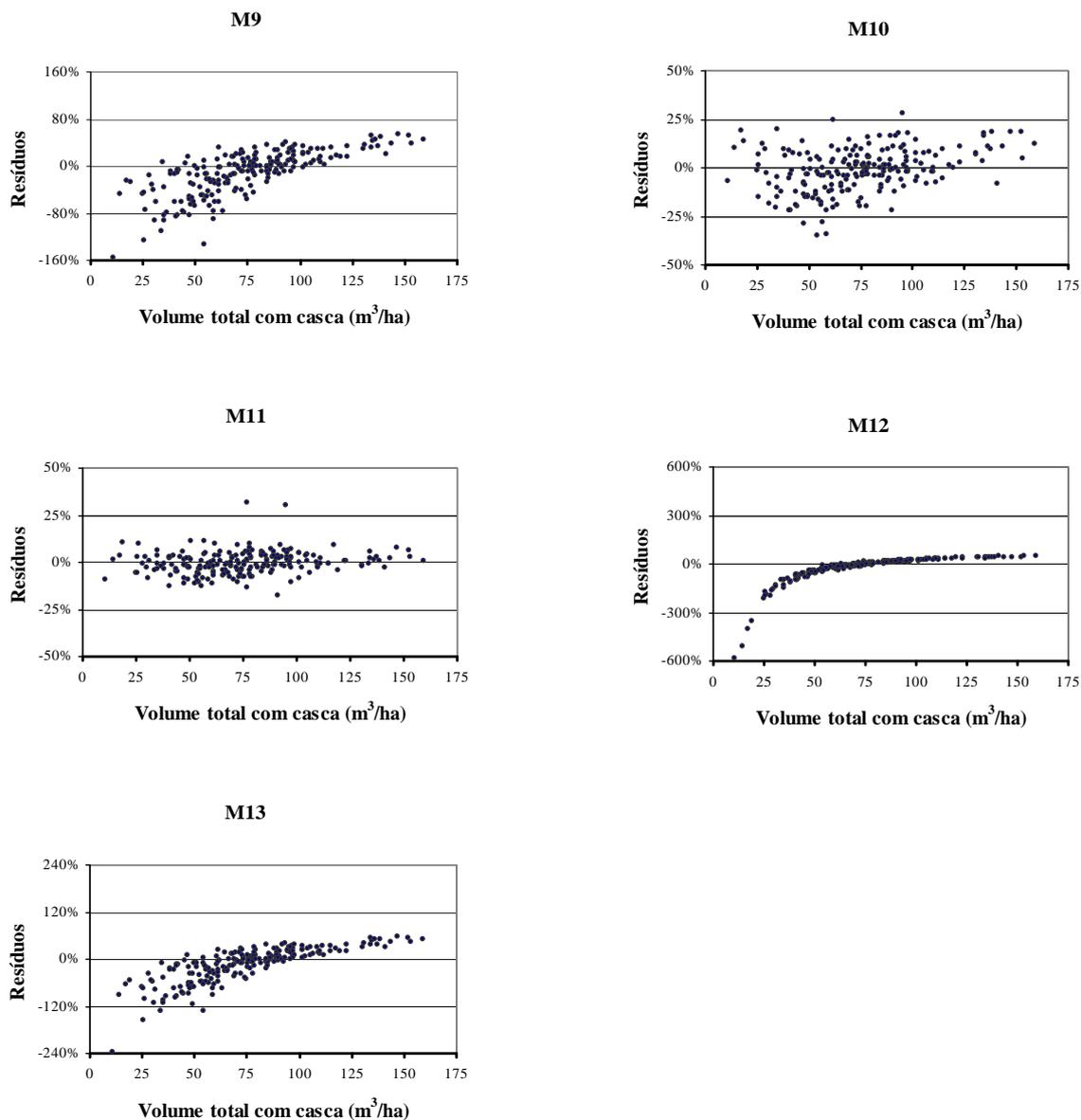


FIGURA 10 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS AJUSTADOS: M9 A M13.



4.5 AJUSTE PELO PROCESSO *STEPWISE*

O processo *Stepwise* foi altamente eficiente para alcançar os objetivos propostos no trabalho. Tal afirmação cabe à presente experiência com os bracingais, sendo que inicialmente optou-se pelo processo *Forward* onde o pesquisador decide quais variáveis incluir no modelo. Observaram-se na oportunidade dois inconvenientes. Por um lado, ao se incluírem somente variáveis com alta correlação linear simples com a variável dependente não resultavam modelos melhores que os selecionados da literatura e por outro o programa sendo utilizado não permitia a inclusão de todas as variáveis geradas, por uma questão de capacidade de processamento de dados do mesmo.

ROSOT (1989) salientou que com o método *Stepwise* de seleção de variáveis, obteve-se um acréscimo significativo quanto à precisão em relação aos modelos selecionados da literatura. Ressalta ainda que quando todas as variáveis foram envolvidas no processo de seleção, inclusive aquelas de baixa correlação linear simples com a variável dependente, foram obtidas as melhores equações no que se refere aos indicadores de ajuste e precisão.

Em função dessas razões procurou-se um programa e um método que resolvesse tais dificuldades, encontrando no método *Stepwise*, uma solução adequada. Segundo afirma VALENTIN (2000) a regressão múltipla “passo a passo” (*Stepwise Multiple Regression – SWMR*) é um dos métodos mais recomendados para uma seleção criteriosa das variáveis explicativas, no estabelecimento de um modelo multilinear.

4.5.1 Modelos Aritméticos e Semi-logarítmicos

Tal como para os modelos de literatura, aqui também se individualizaram os processos em função das variáveis dependentes, analisando-se em primeira instância os modelos aritméticos e semi- logarítmicas.

Para realizar o processo *Stepwise*, como já foi mencionado, foram utilizadas as 58 variáveis independentes, inclusive aquelas cuja correlação linear simples com o

volume total era quase inexistente, como foram os casos da idade ($r = 0,058$) e do número de árvores por hectare ($r = 0,040$).

As equações geradas com as respectivas estimativas dos coeficientes e as principais estatísticas resultantes do processo *Stepwise*, com o volume (V) como variável dependente estão na Tabela 17 e a distribuição gráfica dos resíduos na Figura 11 para as equações M1 a M8, na Figura 12 para M9 a M14 e na Figura 13 para as seis restantes M15 a M20.

Como esperado, a primeira variável selecionada foi $G\bar{h}$, a de maior correlação linear simples com o volume total com casca, gerando a equação M1 apresentando $R^2_{aj} = 0,99566$ e $S_{yx} = 2,58\%$. Essa equação já tinha sido ajustada na etapa de seleção de modelos da literatura, a equação da variável combinada de SPURR (1952).

No segundo passo calcularam-se os coeficientes de correlação parcial entre o restante das variáveis permanecendo $G\bar{h}$ no modelo. Como resultado a segunda variável a entrar foi Gh_{dom} permanecendo $G\bar{h}$ na equação. Assim, a equação gerada M2 melhorou o ajuste apresentando $R^2_{aj} = 0,99738$ e o erro padrão da estimativa em percentagem foi reduzido para 2,007%. Quanto à análise da distribuição dos resíduos da segunda equação comparada com a anterior, conseguiu reduzir a dispersão dos resíduos para os volumes estimados abaixo de 45 m³/ha.

Resultado similar foi obtido por ROSOT (1989) quando aplicou o método *Stepwise* na série B de dados de *Pinus taeda*, onde a seqüência de entrada foi Gh_{dom} seguida de $G\bar{h}$, obteve uma equação com bons valores de ajuste e precisão: $R^2_{aj} = 0,997$ e $S_{yx}\% = 1,394$.

A partir do terceiro passo começaram a ser incorporadas variáveis que mostraram inicialmente baixa correlação linear simples com V, porém resultaram em correlação parcial importante quando as outras variáveis estavam presentes no modelo, e foram necessárias para explicar o restante da variação que as variáveis que já estavam dentro da equação não conseguiam explicar. Assim, a variável G^2N , que apresentou $r_{(V)} = 0,309$, foi incluída no terceiro passo M3 e posteriormente retirada no sexto M6. A equação resultante no sexto passo M6, com a retirada da variável G^2N contém quatro variáveis independentes: $G\bar{h}$, Gh_{dom} , $\ln(d_g^2)$ e $\ln(\bar{d})$.

O ajuste não apresentou melhora significativa entre o passo 2 e o passo 6, dado que o segundo passo atingiu um valor consideravelmente elevado de R^2_{aj} : 0,99738. O ponto interessante esteve na diminuição do $S_{yx}\%$ de 2,0067 para 1,586%, que dependendo da quantidade de metros cúbicos totais a serem estimados, tal diminuição pode chegar a ser importante ou não ficando a critério do técnico optar pelo modelo mais adequado. Não houve melhora na distribuição dos resíduos na área dos volumes menores, mantendo-se em ambos os modelos entre -5% de superestimativa e 7% para a subestimativa.

O processo continuou até o passo 20 já que o critério de parada implica que o número de coeficientes ($p = \text{variáveis} + b_0$) se igualem ao valor do C_p de Mallows ($E(C_p) = p$) segundo se detalha na metodologia no item referente ao processo *Stepwise*. Desta forma no passo vinte o valor do coeficiente C_p foi igual a 15,9386 e o número de variáveis chegou a 14 que somadas ao b_0 passam a completar os 15 coeficientes, concluindo o processo.

A única variável com valor para o teste F não significativo a $p < 0,05$ foi a idade do povoamento a qual foi incluída no processo no passo 11 e permaneceu no modelo final com um valor de F muito reduzido, de 3,38 e valor de $p = 0,0675$.

TABELA 17 – COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS ARITMETICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS EM CADA PASSO PELO MÉTODO STEPWISE.

Continua

Nº	EQUAÇÕES	R ²			
		AJUSTADO	Syx	Syx %	F
M1	$V = 0,52950 + 0,51116G\bar{h}$	0,99566	1,9329	2,5816	47.733,35
M2	$V = 0,23415 + 0,40208G\bar{h} + 0,09969 + Gh_{dom}$	0,99738	1,5024	2,0067	39.568,31
M3	$V = 0,20965 + 0,40427G\bar{h} + 0,09637Gh_{dom} + 7,156558E - 7G^2N$	0,99745	1,4825	1,9801	27.093,99
M4	$V = -1,95634 + 0,39756G\bar{h} + 0,10044Gh_{dom} + 0,00000126G^2N + 0,49174\ln d_g^2$	0,99749	1,4698	1,9630	20.676,66
M5	$V = -1,2374 + 0,42122G\bar{h} + 0,08192Gh_{dom} + 1,70899E - 7G^2N + 30,6426\ln d_g^2 - 61,57824\ln \bar{d}$	0,99836	1,1898	1,5891	25.262,81
M6	$V = -0,92025 + 0,42222G\bar{h} + 0,08148Gh_{dom} + 31,0794\ln^2 d_g - 62,5994\ln \bar{d}$	0,99836	1,1877	1,5863	31.690,06
M7	$V = -2,80865 + 0,42398G\bar{h} + 0,07942Gh_{dom} + 31,51836\ln d_g^2 - 62,491\ln \bar{d} - 0,0002053\bar{d}^2 d_g$	0,99839	1,1763	1,5711	25.846,50
M8	$V = -2,93412 + 0,42825G\bar{h} + 0,07775Gh_{dom} + 31,86023\ln d_g^2 - 63,28754\ln \bar{d} - 0,0003294\bar{d}^2 d_g + 177,873571/N$	0,99842	1,1649	1,5559	131.782,78
M9	$V = 1,96529 + 0,42879G\bar{h} + 0,07742Gh_{dom} + 32,35877\ln d_g^2 - 67,68722\ln \bar{d} - 0,00189\bar{d}^2 d_g + 190,742491/N + 0,04412\bar{d}^2$	0,99846	1,1531	1,5402	19.213,11
M10	$V = -5,47612 + 0,42827G\bar{h} + 0,07775Gh_{dom} + 37,38341\ln d_g^2 - 62,64657\ln \bar{d} - 0,00535\bar{d}^2 d_g + 186,993741/N + 0,23767\bar{d}^2 - 4,34334\bar{d}$	0,99847	1,1476	1,5328	135.793,94
M11	$V = -6,40792 + 0,43056G\bar{h} + 0,07617Gh_{dom} + 38,04653\ln d_g^2 - 62,23841\ln \bar{d} - 0,00565\bar{d}^2 d_g + 198,663191/N + 0,25699\bar{d}^2 - 4,88363\bar{d} + 0,0677I$	0,99848	1,14419	1,5282	136.606,12

V = volume total com casca (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

TABELA 17 – COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS ARITMETICOS E SEMI-LOGARITMICOS, GERADOS EM CADA PASSO PELO METODO *STEPWISE*.

Nº	EQUAÇÕES	Conclusão			
		R ² AJUSTADO	Syx	Syx %	F
M12	$V = -9,51001 + 0,42861.G\bar{h} + 0,07817.Gh_{dom} + 37,61617.ln d_g^2 - 61,22068.ln \bar{d} - 0,0055.\bar{d}^2 d_g + 211,10755.1/N + 0,24643.\bar{d}^2 - 4,72188.\bar{d} + 0,18226I + 8,08354.1/I$	0,99850	1,13757	1,5194	138.203,83
M13	$V = -9,71541 + 0,43067.G\bar{h} + 0,07733.Gh_{dom} + 37,42974.ln d_g^2 - 59,24282.ln \bar{d} - 0,00615.\bar{d}^2 d_g + 206,03779.1/N + 0,28777.\bar{d}^2 - 5,38219.\bar{d} + 0,19136I + 7,80312.1/I - 0,00044096.\bar{d}^2 \bar{h}$	0,99851	1,13372	1,5142	139.145,47
M14	$V = -11,62257 + 0,45428.G\bar{h} + 0,05481.Gh_{dom} + 39,01523.ln d_g^2 - 57,27387.ln \bar{d} - 0,00727.\bar{d}^2 d_g + 187,93516.1/N + 0,38395.\bar{d}^2 - 7,26308.\bar{d} + 0,20125I + 9,19757.1/I - 0,00169.\bar{d}^2 2\bar{h} + 0,0094.h_{dom}$	0,99855	1,11756	1,4927	143.205,68
M15	$V = -4,37552 + 0,45152.G\bar{h} + 0,05777.Gh_{dom} + 38,73871.ln d_g^2 - 54,64818.ln \bar{d} - 0,00737.\bar{d}^2 d_g + 205,88664.1/N + 0,39778.\bar{d}^2 - 7,68142.\bar{d} + 0,18329I + 6,30052.1/I - 0,00188.\bar{d}^2 \bar{h} + 0,0195.h_{dom}^2 - 3,991.ln h_{dom}$	0,99858	1,10591	1,4771	146.244,11
M16	$V = -0,83155 + 0,45103.G\bar{h} + 0,05824.Gh_{dom} + 38,89013.ln d_g^2 - 54,9701.ln \bar{d} - 0,00744.\bar{d}^2 d_g + 201,12598.1/N + 0,40307.\bar{d}^2 - 7,77345.\bar{d} + 0,09904I - 0,00185.\bar{d}^2 \bar{h} + 0,02064.h_{dom}^2 - 4,67517.ln h_{dom}$	0,99857	1,10845	1,4805	145.572,47
M17	$V = 34,11468 + 0,44368.G\bar{h} + 0,06434.Gh_{dom} + 38,74587.ln d_g^2 - 54,30203.ln \bar{d} - 0,0075.\bar{d}^2 d_g + 169,12423.1/N + 0,40197.\bar{d}^2 - 7,88125.\bar{d} + 0,08592I - 0,0014.\bar{d}^2 \bar{h} - 0,09233.h_{dom}^2 - 39,86208.ln h_{dom} + 5,72806.h_{dom}$	0,99863	1,08757	1,4526	151.224,45
M18	$V = 38,11132 + 0,41429.G\bar{h} + 0,09053.Gh_{dom} + 39,12018.ln d_g^2 - 53,08397.ln \bar{d} - 0,00741.\bar{d}^2 d_g + 110,83312.1/N + 0,42113.\bar{d}^2 - 8,33358.\bar{d} + 0,09059I - 0,00212.\bar{d}^2 \bar{h} - 0,10769.h_{dom}^2 - 43,88879.ln h_{dom} + 6,12656.h_{dom} + 0,01876.\bar{h}^2$	0,99864	1,08279	1,4462	152.567,56
M19	$V = 40,86997 + 0,40309.G\bar{h} + 0,09934.Gh_{dom} + 39,18221.ln d_g^2 - 52,08545.ln \bar{d} - 0,00737.\bar{d}^2 d_g + 0,48965.\bar{d}^2 - 8,60519.\bar{d} + 0,08493I - 0,00239.\bar{d}^2 \bar{h} - 0,11954.h_{dom}^2 - 47,03494.ln h_{dom} + 6,59124.h_{dom} + 0,02501.\bar{h}^2$	0,99863	1,08501	1,4492	151.941,30
M20	$V = 48,22287 + 0,38342.G\bar{h} + 0,11706.Gh_{dom} + 39,41874.ln d_g^2 - 46,95764.ln \bar{d} - 0,0079.\bar{d}^2 d_g + 0,48965.\bar{d}^2 - 10,15256.\bar{d} + 0,08236I - 0,00638.\bar{d}^2 \bar{h} - 0,17223.h_{dom}^2 - 56,84511.ln h_{dom} + 8,14044.h_{dom} + 0,05541.\bar{h}^2 + 0,00344.\bar{d}^2 h_{dom}$	0,99867	1,06988	1,4290	156.275,01

V = volume total com casca (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha

FIGURA 11 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M1 A M8.

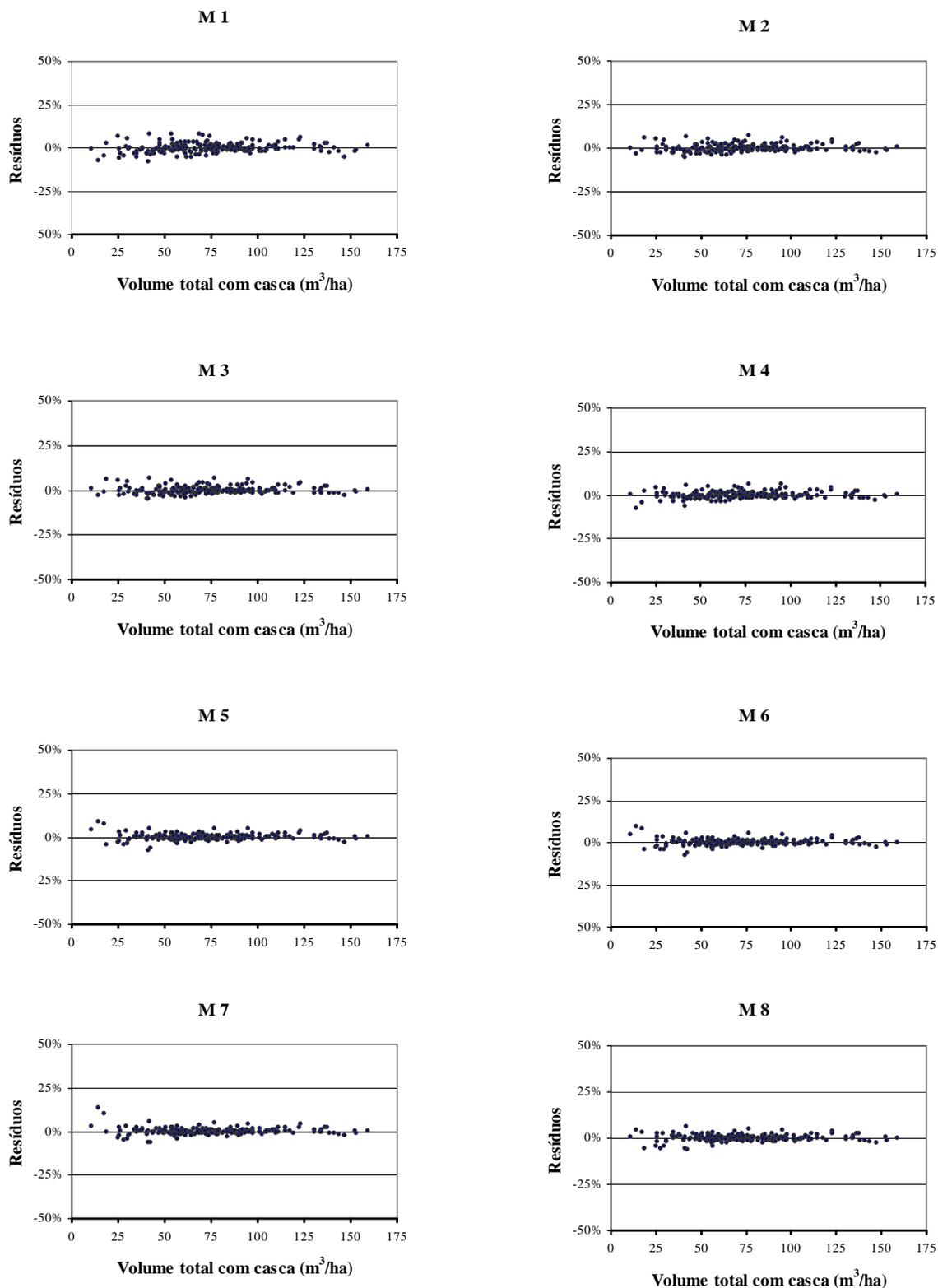


FIGURA 12 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M9 A M16.

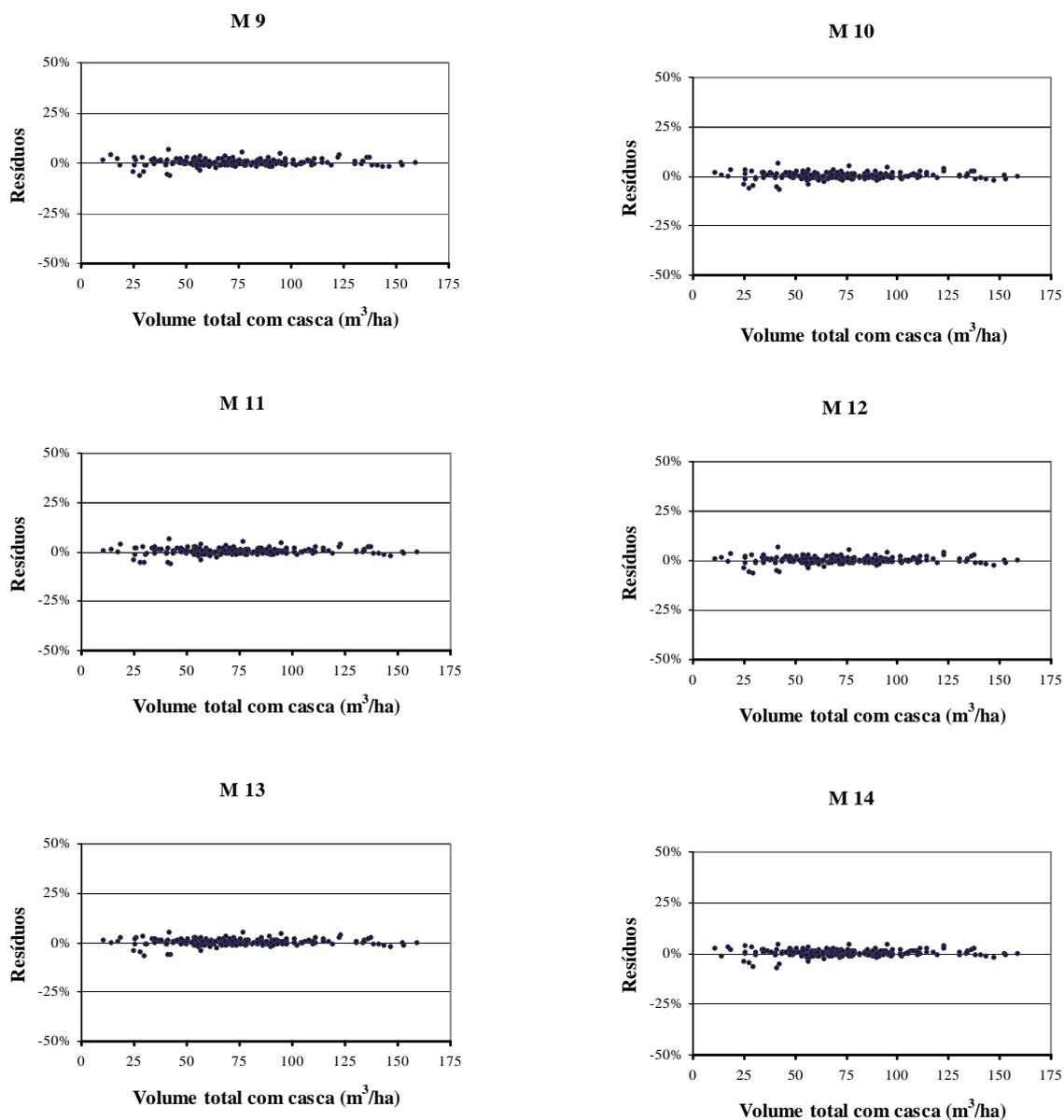
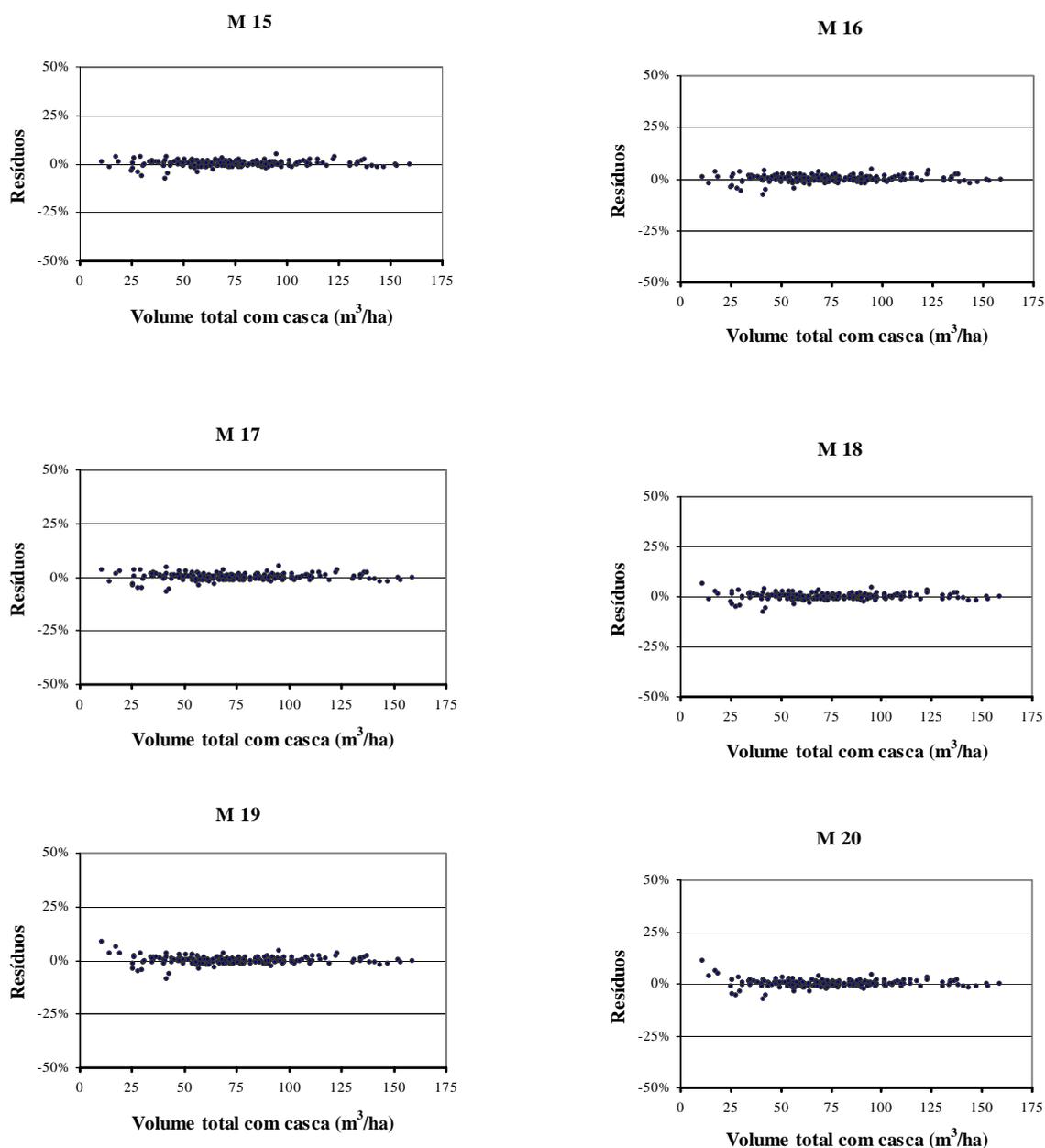


FIGURA 13 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS ARITMÉTICOS E SEMI-LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M15 A M20.



4.5.2 Modelos Logarítmicos

As equações geradas pelo processo *Stepwise* com as respectivas estimativas dos parâmetros e as principais estatísticas, para o logaritmo neperiano do volume ($\ln(V)$) como variável dependente, são apresentadas na Tabela 18 e a distribuição gráfica dos resíduos estão na Figura 14, para as equações M1 a M8 e na Figura 15 para as equações M9 a M16.

Neste caso, para as duas primeiras equações, as variáveis com maior correlação linear com o logaritmo neperiano do volume, $\ln(G\bar{h})$ e $\ln(Gh_{\text{dom}})$, foram as primeiras a ingressar no processo, de forma semelhante àquela quando a variável dependente não estava logaritmizada. FIGUEIREDO FILHO (1983) mencionou que entre todas as variáveis independentes testadas, a combinação da área basal e a altura média aritmética logaritmizada ($\ln(G\bar{h})$) apresentou para todas as tipologias da Floresta Tropical Úmida da Amazônia, com as quais trabalhou, elevados graus de correlação linear simples com o $\ln(V)$, destacando a combinação $\ln(G^2\bar{h})$ com valores de $r = 0,991$ a $0,996$. As duas variáveis foram as primeiras a ingressar nos modelos, a última foi utilizada finalmente para compor o melhor modelo por meio do processo *Forward*. O autor comenta ainda, que houve alternância no ingresso da segunda variável, entre G e $G\bar{h}$.

SILVA (1979) constatou heterogeneidade da variância para duas regiões nas quais pesquisou. Uma vez homogeneizada a variância por meio da logaritmização obteve-se com a variável $\log(G^2h_{\text{dom}})$ a melhor correlação linear simples com o $\log(V)$, havendo eliminado previamente as variáveis que continham a altura média aritmética. Em função disso, por meio do processo *Forward* escolheu-se $\log(G^2h_{\text{dom}})$ como variável independente do melhor modelo simplificado, para estimar o volume total com casca de povoamentos de *Eucalyptus* spp. no Cerrado dos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

Continuando com a análise do presente processo, pode-se dizer que a equação M2 apresentou bons valores de ajuste e precisão, $S_{yx}\%$: 2,0479 e R^2_{aj} : 0,99727.

Quando comparada com a equação aritmética com duas variáveis explicativas vê-se que tanto o ajuste, quanto o erro padrão da estimativa em porcentagem, foram piores que para a presente equação logaritmizada; inclusive a distribuição gráfica dos resíduos também foi melhor para a equação aritmética. Esse resultado foi contrário ao obtido tanto por OLIVEIRA (2003), por ROSOT (1989) quanto por FIGUEIREDO FILHO (1983), os quais concluíram que os modelos logarítmicos testados para estimar o volume comercial com casca em m^3/ha de fragmentos da Floresta Estacional Semidecidual, de *Pinus taeda*, e de uma Floresta Tropical Úmida da Amazônia respectivamente, foram superiores aos aritméticos.

No terceiro passo a variável inserida também foi G^2N , não resultando numa equação melhor que a aritmética.

A variável G^2N não foi retirada do processo em uma instância posterior, como ocorreu no caso dos modelos aritméticos, fato que pode ser responsável pelo pior desempenho da equação com quatro variáveis resultante deste processo, em relação àquela gerada com a variável dependente sem logaritmizar.

A melhor equação para modelos logarítmicos gerados pelo método *Stepwise* correspondeu a M14, com $S_{yx} = 1,4891\%$, ajuste de $R^2_{aj} = 0,99856$ e adequada distribuição de resíduos, com valores máximos e mínimos de dispersão compreendidos entre 5 e -7%, sem ser melhor do ponto de vista prático, que as equações geradas com somente 2 variáveis.

Neste caso, o processo *Stepwise* continuou até o passo 16, porém o melhor modelo foi gerado no passo 14. Deve-se considerar que o método utiliza como critério de avaliação do ajuste o coeficiente de determinação e o coeficiente de Mallows (C_p), porém nesta pesquisa foi utilizado como indicador o coeficiente de determinação ajustado, o qual leva em consideração o número de coeficientes do modelo e o número de observações, permitindo uma adequada comparação entre equações. Esta foi a razão que habilitou a continuação do processo, porque o R^2 continuou aumentando até o passo 16. Por outra parte não foi atingida a igualdade: $E(C_p) = p$, porque não haviam variáveis independentes disponíveis que pudessem explicar o restante da variação do logaritmo neperiano do volume total com casca.

TABELA 18 – COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS EM CADA PASSO, PELO MÉTODO STEPWISE.

Continua

N°	EQUAÇÕES	R ²	INDICE	Syx	Syx %	F
		AJUSTADO	DE MEYER			
M1	$\ln V = -0,6481 + 0,99683 \cdot \ln \bar{Gh}$	0,99566	1,000364	1,9336	2,5826	47.696,42
M2	$\ln V = -0,6691 + 0,78602 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,21051 \cdot \ln Gh_{dom}$	0,99727	1,000230	1,5333	2,0479	37.987,77
M3	$\ln V = -0,65734 + 0,78998 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,20356 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,06778E - 8 \cdot G^2 N$	0,99732	1,000224	1,5187	2,0284	25.815,78
M4	$\ln V = -0,6916 + 0,76487 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,22369 \cdot \ln Gh_{dom} + 2,259852E - 8 \cdot G^2 N + 0,02242 \cdot \ln d_g$	0,99721	1,000211	1,5500	2,0702	18.586,83
M5	$\ln V = -0,69387 + 0,81512 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,17761 \cdot \ln Gh_{dom} + 7,718508E - 9 \cdot G^2 N + 1,84883 \cdot \ln d_g - 0,9219 \cdot \ln \bar{d}d_g$	0,99838	1,000126	1,1827	1,5797	25.567,05
M6	$\ln V = -0,73093 + 0,81347 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,1763 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,232242E - 8 \cdot G^2 N + 1,85763 \cdot \ln d_g - 0,91309 \cdot \ln \bar{d}d_g - 0,00008624d_g^2$	0,99840	1,000124	1,1738	1,5678	21.630,52
M7	$\ln V = -0,72785 + 0,81823 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,17205 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,292105E - 8 \cdot G^2 N + 1,86934 \cdot \ln d_g - 0,92173 \cdot \ln \bar{d}d_g - 0,00009732 \cdot d_g^2 + 0,001 \cdot I$	0,99844	1,000123	1,1581	1,5468	19.048,53
M8	$\ln V = -0,76813 + 0,81647 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,17464 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,083042E - 8 \cdot G^2 N + 1,88795 \cdot \ln d_g - 0,92826 \cdot \ln \bar{d}d_g - 0,00012164 \cdot d_g^2 + 0,00246 \cdot I + 0,10563 \cdot I / I$	0,99845	1,000122	1,1555	1,5433	133.940,45
M9	$\ln V = -0,73567 + 0,80902 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,17348 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,141838E - 8 \cdot G^2 N + 1,9411 \cdot \ln d_g - 0,95453 \cdot \ln \bar{d}d_g - 0,00013774 \cdot d_g^2 + 0,00246 \cdot I + 0,11439 \cdot I / I + 0,00000443 \cdot Gh^2$	0,99845	1,000121	1,1555	1,5433	14.882,36
M10	$\ln V = -0,70939 + 0,8087 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,1705 \cdot \ln Gh_{dom} + 9,804972E - 9 \cdot G^2 N + 1,83114 \cdot \ln d_g - 0,90461 \cdot \ln \bar{d}d_g - 9,15964E - 8 \cdot d_g^2 + 0,0028 \cdot I + 0,1292 \cdot I / I + 0,00000811 \cdot Gh^2 - 0,00000829 \cdot \bar{d}^2 \bar{h}$	0,99841	1,000119	1,1684	1,5605	131.002,43

V = volume total com casca (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

TABELA 18 – COEFICIENTES DE REGRESSÃO E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS EM CADA PASSO, PELO MÉTODO *STEPWISE*.

N°	EQUAÇÕES	Conclusão				
		R ² AJUSTADO	INDICE DE MEYER	S _{yx}	S _{yx} %	F
M11	$\ln V = -0,70941 + 0,8087 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,1705 \cdot \ln Gh_{dom} + 9,806541E-9 \cdot G^2 N + 1,8312 \cdot \ln d_g - 0,90464 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,0028 \cdot I + 0,1292 \cdot 1/I + 0,0000081 \cdot \bar{Gh}^2 - 0,00000828 \cdot \bar{d}^2 \bar{h}$	0,99842	1,000119	1,1655	1,5566	131.656,02
M12	$\ln V = -0,73976 + 0,79771 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,18116 \cdot \ln Gh_{dom} + 2,048318E-8 \cdot G^2 N + 1,77782 \cdot \ln d_g - 0,87041 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,00256 \cdot I + 0,13086 \cdot 1/I + 0,00001484 \cdot \bar{Gh}^2 - 0,00001131 \cdot \bar{d}^2 \bar{h} - 0,00000578 \cdot G^2 h_{dom}$	0,99853	1,000113	1,1250	1,5026	141.313,39
M13	$\ln V = -0,62518 + 0,73023 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,21037 \cdot \ln Gh_{dom} + 2,065007E-8 \cdot G^2 N + 1,78015 \cdot \ln d_g - 0,87277 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,00261 \cdot I + 0,13057 \cdot 1/I - 0,00000757 \cdot \bar{Gh}^2 - 0,00000973 \cdot \bar{d}^2 \bar{h} - 0,00002165 \cdot G^2 h_{dom} + 0,00101 \cdot \bar{Gh}$	0,99854	1,000113	1,1211	1,4974	142.295,32
M14	$\ln V = -0,6549 + 0,74633 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,20322 \cdot \ln Gh_{dom} + 2,18047E-8 \cdot G^2 N + 1,77896 \cdot \ln d_g - 0,87093 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,0026 \cdot I + 0,13372 \cdot 1/I - 0,00001073 \cdot \bar{d}^2 \bar{h} - 0,00001792 \cdot G^2 h_{dom} + 0,00073768 \cdot \bar{Gh}$	0,99856	1,000113	1,1149	1,4891	143.887,67
M15	$\ln V = -0,60348 + 0,71011 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,22822 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,624793E-8 \cdot G^2 N + 1,78129 \cdot \ln d_g - 0,87523 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,00234 \cdot I + 0,09678 \cdot 1/I - 0,00000947 \cdot \bar{d}^2 \bar{h} - 0,00002955 \cdot G^2 h_{dom} + 0,00092888 \cdot \bar{Gh} + 0,0001226 \cdot G^2$	0,99852	1,000112	1,1296	1,5087	140.164,48
M16	$\ln V = -0,6307 + 0,71417 \cdot \ln \bar{Gh} + 0,23097 \cdot \ln Gh_{dom} + 1,337613E-8 \cdot G^2 N + 1,79308 \cdot \ln d_g - 0,88364 \cdot \ln \bar{d} d_g + 0,00272 \cdot I + 0,11513 \cdot 1/I - 0,00001089 \cdot \bar{d}^2 \bar{h} - 0,00003082 \cdot G^2 h_{dom} + 0,00094314 \cdot \bar{Gh} + 0,00012779 \cdot G^2 + 2,09765 \cdot 1/N$	0,99853	1,000111	1,1256	1,5034	141.158,07

V = volume total com casca (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha

FIGURA 14 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M1 A M8.

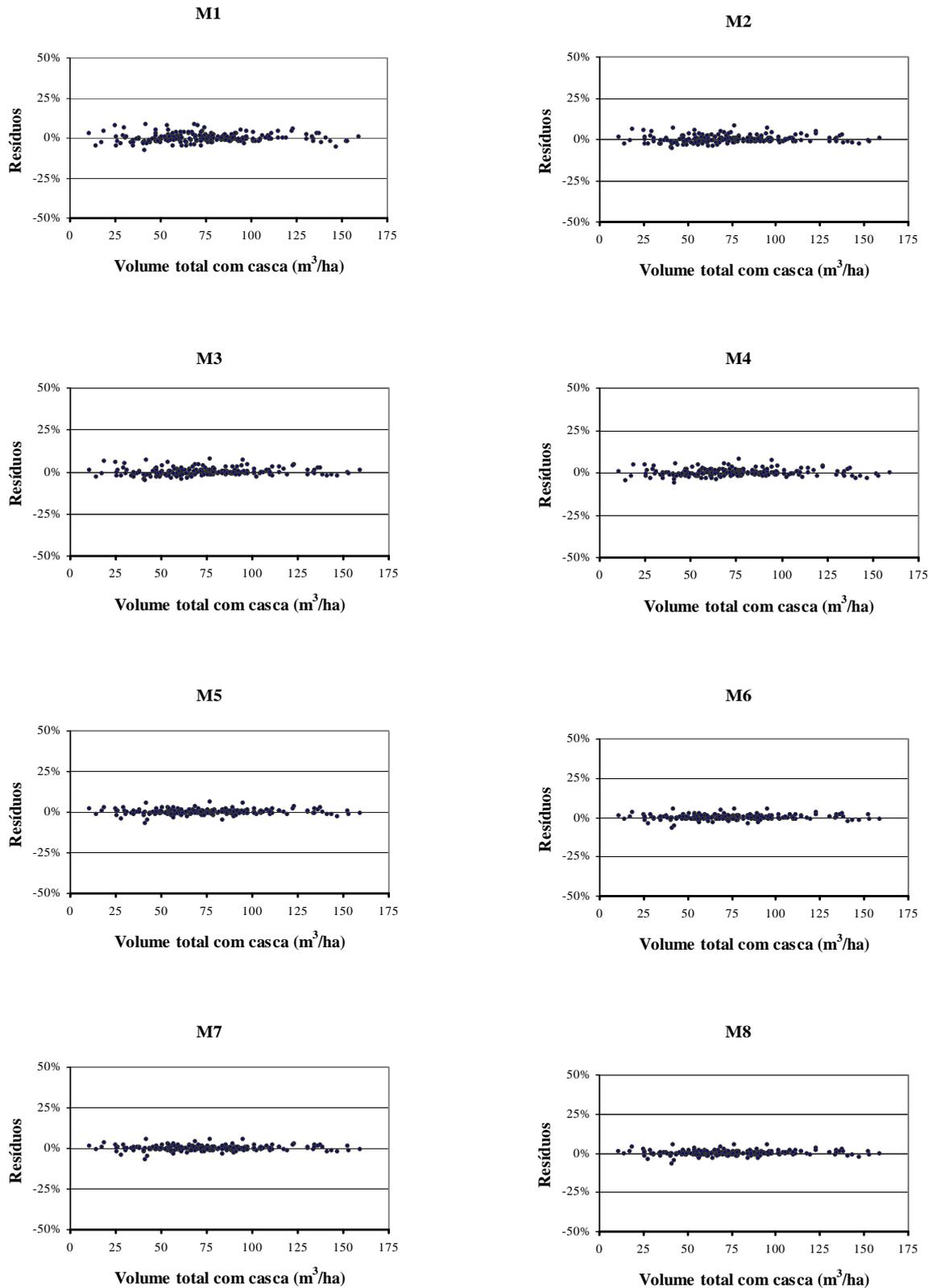
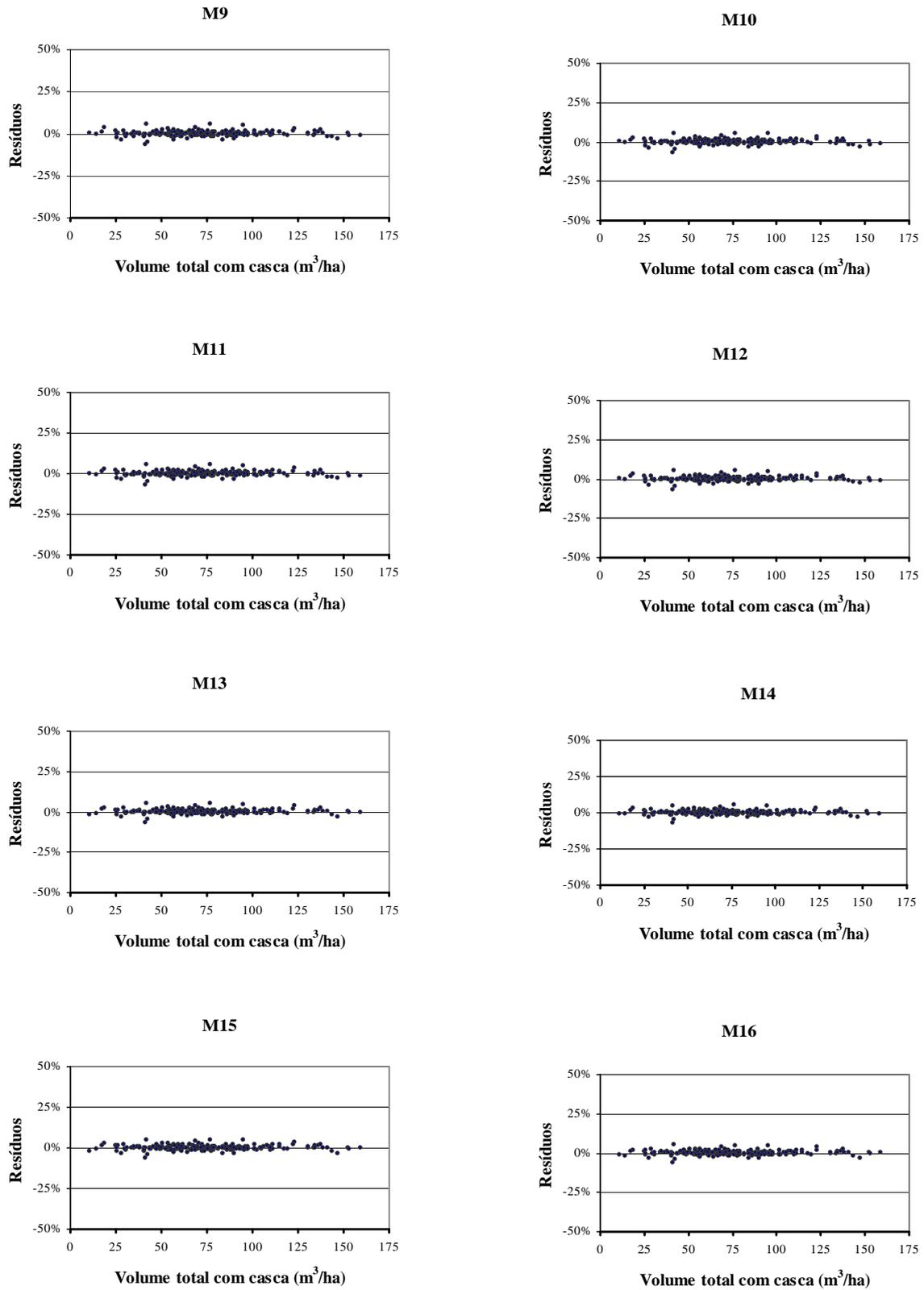


FIGURA 15 – DISPERSÃO DOS RESÍDUOS EM PORCENTAGEM DO VOLUME TOTAL COM CASCA, POR HECTARE (m^3/ha) PARA OS MODELOS LOGARÍTMICOS, GERADOS PELO MÉTODO STEPWISE: M9 A M16.



4.6 SELEÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO

Dois critérios opostos estão usualmente envolvidos no momento da seleção da melhor equação. Por um lado, para que a equação seja útil aos propósitos da predição dever-se-ia pretender um modelo que incluísse tantas variáveis preditivas quanto forem possíveis, de forma tal que possam ser estimados valores confiáveis. Por outra parte, em função dos custos envolvidos em obter a informação, para um grande número de variáveis e a seu subsequente monitoramento, dever-se-ia preferir uma equação que incluísse o menor número possível de variáveis. O comprometimento entre esses dois extremos é usualmente chamado de seleção da melhor equação de regressão, (DRAPER e SMITH, 1980).

Para facilitar a análise da informação se fez um resumo dos melhores modelos por etapa concretizada; o mesmo é apresentado na Tabela 19.

Numa primeira instância pode-se observar que as melhores equações logarítmicas resultaram as mesmas, tanto para os modelos selecionados de literatura quanto para o processo *Stepwise*, as quais não tiveram melhor desempenho que as aritméticas e semi-logarítmicas.

TABELA 19 – RESUMO DAS MELHORES EQUAÇÕES AJUSTADAS EM CADA ETAPA, CLASSIFICADAS EM ORDEM DECRESCENTE PELO S_{yx} %.

ETAPA DE AJUSTE	EQUAÇÕES	R ²		
		AJUSTADO	S _{yx}	S _{yx} %
Semi-log. Stepwise (M6)	$V = -0,92025 + 0,42222.G\bar{h} + 0,08148.Gh_{dom} + 31,0794.\ln d_x^2 - 62,5994.\ln \bar{d}$	0,99836	1,1877	1,59
Arit. Stepwise (M2)	$V = 0,23415 + 0,40208.G\bar{h} + 0,09969.Gh_{dom}$	0,99738	1,5024	2,01
Log. Stepwise (M2)	$\ln V = -0,669104 + 0,786021.\ln G\bar{h} + 0,210509.\ln Gh_{dom}$	0,99727	1,5333	2,05
Log. Literatura (M3)	$\ln V = -0,669104 + 0,786021.\ln G\bar{h} + 0,210509.\ln Gh_{dom}$	0,99727	1,5333	2,06
Arit. Literatura (M3)	$V = -0,195987 + 0,499727.G\bar{h} + 0,19158.G + 0,00919723\bar{h}$	0,99582	1,8974	2,53
Arit. Literatura (M1)	$V = 0,5295 + 0,51116.G\bar{h}$	0,99566	1,9329	2,58

$\ln V$ = logaritmo neperiano do volume total com casca (m³/ha); N = número de árvores por hectare; G = área basal (m²); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); h_{dom} = altura média dominante (m); S_{yx} = erro padrão da estimativa em m³/ha.

A equação resultante do ajuste de modelos aritméticos selecionados da literatura apesar de apresentar indicadores adequados de ajuste e precisão, foi em comparação com os outros processos a opção de pior desempenho.

Finalmente têm-se duas equações selecionadas como as melhores resultantes do processo *Stepwise*, uma aritmética e outra semi-logaritmica, as quais foram submetidas à validação, sendo as que apresentaram menor valor de erro padrão da estimativa em percentagem e melhor ajuste, com adequada distribuição gráfica de resíduos.

4.7 VALIDAÇÃO DA MELHOR EQUAÇÃO

A partir de 20 parcelas inicialmente separada da base de dados, constituindo-se dessa forma em uma série de dados independentes daquela utilizada nos ajustes dos modelos, realizou-se a validação das equações selecionadas para estimar o volume total com casca por hectare. Para essa finalidade se usou o teste Qui-quadrado e a análise gráfica dos resíduos. No ANEXO VI inclui-se a lista de parcelas utilizadas na validação.

4.7.1 Validação Pelo Teste Qui-quadrado

A validação dos modelos escolhidos, a partir do teste Qui-quadrado (χ^2) implica que o valor de χ^2 calculado deve ser menor que o valor χ^2 tabelar, estabelecendo desta forma, que não existe diferença estatisticamente significativa entre os valores estimados e os valores reais. Neste caso o valor tabelar para 19 graus de liberdade e um nível de confiança de 99% é de 36,2.

O valor de χ^2 calculado para a equação com duas variáveis independentes foi de 0.011467^{ns}, e para a equação com quatro variáveis independentes foi de 0.007675^{ns}, sendo não significativos a nível de 99% de confiança (Tabela 20).

TABELA 20 – SIGNIFICÂNCIA DO QUI-QUADRADO CALCULADO, PARA AS EQUAÇÕES SENDO VALIDADAS.

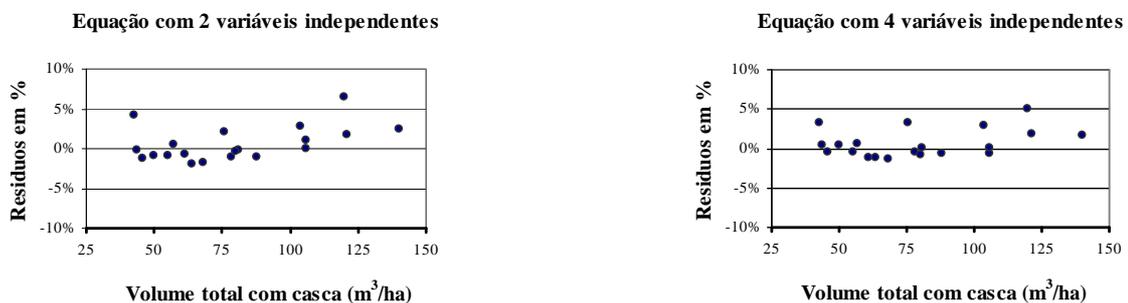
N°	EQUAÇÕES	χ^2 CALCULADO
M2	$V = 0,23415 + 0,40208.G\bar{h} + 0,09969.Gh_{dom}$	0,011467 ^{ns}
M6	$V = -0,92025 + 0,42222.G\bar{h} + 0,08148.Gh_{dom} + 31,0794.\ln d_g^2 - 62,5994.\ln \bar{d}$	0,007675 ^{ns}

4.7.2 Validação Pela Análise Gráfica de Resíduos

Complementarmente, por meio da análise gráfica de resíduos apresentada na Figura 16, verificou-se que os valores para as duas equações se mantêm entre $\pm 10\%$, com uma leve tendência à subestimativa em ambos os casos. Para a equação com duas variáveis os valores se distribuem entre 8% e -2% e para a equação com quatro variáveis entre +5% e 6%, comparativamente a segunda equação apresenta uma distribuição de resíduos melhor.

Observando a Figura 16 poder-se-ia dizer que existe tendenciosidade na distribuição dos resíduos da validação, embora fosse necessário um maior número de dados para confirmar tal asseveração, já que a mesma foi feita a partir de somente vinte parcelas, acrescentando que na análise gráfica dos resíduos realizada por oportunidade do ajuste destas equações não se verificou tendenciosidade alguma.

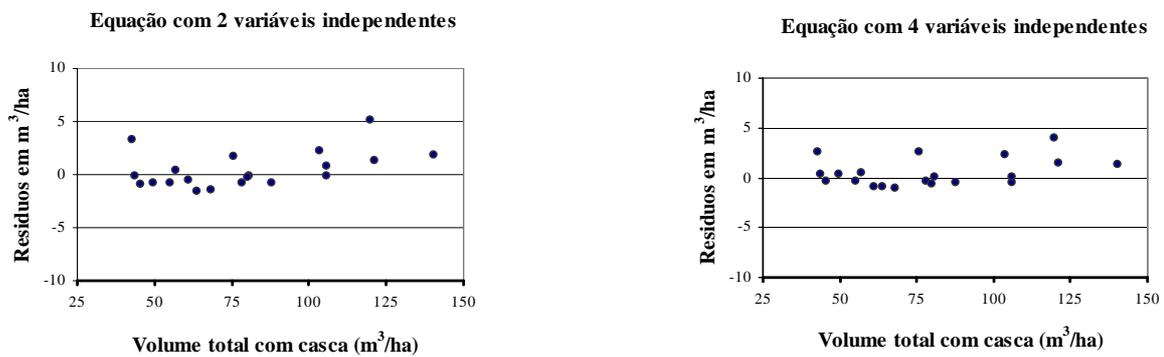
FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO PRECENTUAL DOS RESÍDUOS DA VALIDAÇÃO, EM FUNÇÃO DO VOLUME TOTAL COM CASCA, PARA AS EQUAÇÕES SENDO VALIDADAS.



Os resíduos em valor absoluto foram colocados em forma gráfica a partir da diferença entre os metros cúbicos reais e os estimados ($y - \hat{y}$) para cada observação,

segundo apresenta-se na Figura 17. Para a equação com duas variáveis independentes os valores distribuem-se entre $5,18 \text{ m}^3/\text{ha}$ (subestimativa) e $-1,56 \text{ m}^3/\text{ha}$ (superestimativa); para a equação com quatro variáveis os valores estiveram entre $3,99$ e $-1,04 \text{ m}^3/\text{ha}$.

FIGURA 17 - --DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS EM VALORES ABSOLUTOS (m^3/ha) PARA AS DUAS EQUAÇÕES USADAS NA VALIDAÇÃO.



4.7.3 Validação Pelo Erro Padrão da Estimativa

Os valores de acuidade para a validação das duas equações mostradas na Tabela 21 indicam que a equação com quatro variáveis teve uma pequena diferença com relação à equação com duas variáveis, sendo que ambas apresentaram valores reduzidos, sendo o $S_{yx}\%$ de 2,37 para a equação com duas variáveis e de $S_{yx}\%$: 2,13 para a equação com quatro variáveis independentes. A diferença entre os valores absolutos do erro padrão da estimativa entre as duas equações foi muito reduzido, de $0,19 \text{ m}^3/\text{ha}$, condição que permite afirmar que a equação com duas variáveis independentes, do ponto de vista prático, é tão adequada para estimar o volume total com casca por hectare, quanto a equação com quatro variáveis independentes.

TABELA 21 – INDICADORES DE PRECISÃO PARA AS DUAS EQUAÇÕES VALIDADAS.

N° VAR.					
IND.	EQUAÇÕES	Syx	Syx %	QMRes.	
2	$V = 0,23415 + 0,40208.G\bar{h} + 0,09969.Gh_{dom}$	1,8811	2,37	3,5386	
4	$V = -0,92025 + 0,42222.G\bar{h} + 0,08148.Gh_{dom} + 31,0794.ln d_g^2 - 62,5994.ln \bar{d}$	1,6913	2,13	2,8603	

Consideram-se validadas as duas equações em função da inexistência de diferenças significativas entre valores reais e estimados para o teste χ^2 , da equilibrada distribuição dos resíduos com relação ao volume total real com casca por hectare, e dos reduzidos valores de erro padrão de estimativa, tanto absoluto, quanto relativo.

5 CONCLUSÕES

Em função dos resultados e discussões realizados a partir dos descritores gerais dos bracatingais, conclui-se:

A abrangência da base de dados permitiu caracterizar quantitativamente à *Mimosa scabrella*, crescendo em bracatingais nativos e ou com manejo tradicional na R.M.C.

Numa fase inicial, dos 3 aos 5,9 anos, os bracatingais se caracterizaram por uma intensa mortalidade com conseqüências sobre a área basal, diminuindo a sua magnitude, com fustes de diâmetros à altura do peito reduzidos, em torno dos 7 cm e acelerado crescimento em altura total com valores médios de 8,6 a 10 metros.

Entre os 6 e 9 anos de idade a taxa de mortalidade se estabilizou, permitindo ao bracatingal atingir seu máximo de produção com um valor médio de 107,74 m³/ha, para os diferentes sítios e para a espécie em questão.

Numa terceira etapa a taxa de mortalidade volta a sofrer incremento provocando a queda no volume. Concomitantemente, nesse mesmo período ocorre a estabilização no crescimento da altura dominante e logo da altura média, salientando que quando individualizados os valores desta última variável por classe de sítio, a altura total média continuou aumentando. Finalmente, os poucos indivíduos que permanecem em pé, ao redor de 5% do número de árvores inicial, continuam crescendo em diâmetro.

Com relação às equações de volume do povoamento, conclui-se:

Vários modelos selecionados da literatura apresentaram bom desempenho com valores de ajuste elevados, erros médios reduzidos e adequada distribuição de resíduos.

Os modelos selecionados pelo processo *Stepwise* tiveram acréscimo quanto à precisão e ao ajuste em relação aos modelos selecionados da literatura, porém não houve melhora significativa quanto à magnitude de dispersão dos resíduos para os menores volumes.

As variáveis independentes de baixa correlação linear simples com a variável dependente, quando envolvidas no processo *Stepwise* contribuíram para aumentar os valores de ajuste e precisão dos modelos, em função da alteração dos valores de correlação parcial quando incluída uma nova variável na equação.

Os modelos aritméticos e semi-logarítmicos, em geral, apresentaram melhor desempenho que os logarítmicos, tanto para os modelos selecionados da literatura quanto para os modelos selecionados pelo processo *Stepwise*.

O modelo de melhor desempenho do ponto de vista da praticidade resultou da seleção pelo processo *Stepwise* com a forma $V = b_0 + b_1 \cdot \bar{Gh} + b_2 \cdot Gh_{dom}$, sendo validado com valores de erro padrão da estimativa de 2,13 %, valor não significativo para o teste Qui-quadrado e equilibrada distribuição dos resíduos, considerando-se como uma alternativa adequada para estimar o volume total com casca, para lenha, *Mimosa scabrella* em bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, S. Um modelo matemático para volumetria comercial de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 77-90. 1981.
- ASSMANN, E. **The principles of forest yield study**. Oxford. 506 p. 1970.
- BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; AYANZ, A.A. **Equações estimativas do peso seco da biomassa aérea da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na idade de corte**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n.30/31, p.37-49, 1995.
- BAGGIO, A.J.; CARPANEZZI, A.A.; GRAÇA, L.R.; e CECCON, E. **Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 12, p. 73-82. 1986.
- BAREMBUEM, A. A. R. T. **Avaliação da biomassa aérea de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) para fins energéticos**. Curitiba. 71 p. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- BURKART, A. Leguminosas – Mimosoideas. In: BURKART, A. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí - Santa Catarina. 299 p. 1979.
- CAMPOS, C.H.O; GRAÇA, L.R.; RIBAS, L.C. **A produtividade do bracatingal tradicional através do tempo**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo – Paraná, n.12, p. 35-46. 1986.
- CARPANEZZI, A. A.; CARPANEZZI, O. T. B. Cultivo da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) no Brasil e prioridades para o seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 2, p. 640-655. 1992.
- CARVALHO, P.E.R. Composição e crescimento de um povoamento natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 77-90. 1981.
- CARVALHO, P.E.R. *Mimosa scabrella* Benth. var *aspericarpa* (Hoehne) Burkart. In: CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ/Brasília: EMBRAPA SPI. p. 344- 347. 1994.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, v1. 1039 p. 2003.

CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber Management: a quantitative approach**. New York, John Wiley & Sons, 333 p. 1983.

CROMER, D.; BOWLING, P.J. The development of a yield table for *Eucalyptus obliqua* regrowth in Southern Tasmania. In: **Segunda conferência Mundial do Eucalipto**, 1961, São Paulo. p. 1071-1080. 1961.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. 2.ed. New York : Botanical Garden, 555 p. 1988.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression Analysis**. 2° ed. New York, John Wiley & Sons, Inc. 709 p. 1980.

DURLO, M.A. **Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.11, n.1, p. 141-149. 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham)**. Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, (Série Documentos, n. 20), 70 p.1988.

ENGLER, A. **Syllabus der pflanzenfamilien**. Berlin. : Gebrüder Borntraeger. v.2. 1964.

FERREIRA, C. A. **Estimativa do volume de madeira aproveitável para celulose em povoamentos de *Eucalyptus spp.*** Piracicaba. ESALQ. Dissertação de Mestrado. 104 p.1976.

FIGUEIREDO, D. J. de. **Utilização da variável diâmetro quadrático médio d_g^2 , em estimativas volumétricas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, na Região Central do Paraná**. Curitiba. 90 p. 1982. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

FIGUEIREDO FILHO, A. **Estudos de modelos matemáticos para estimar o volume por unidade de área em uma floresta tropical úmida na Amazônia Brasileira**. Curitiba. 150 p. 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. n 1. Rio de Janeiro. 92 p. 1992.

INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. **Projeto Madeira do Paraná**. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba. 260 p. 1984.

KLEIN, R.M. Aspectos fitofissociológicos da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 145-148. 1981.

KLEIN, R.M.; HATSCHBACH, G. **Fitofisionomia e notas sobre a vegetação para acompanhar a planta fitogeográfica do Município de Curitiba e arredores**. In: Geografia física. n 4. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. p. 1-29. 1962.

LISBÃO JUNIOR, L. Bracatinga como fonte energética. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 133-143. 1981.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa. São Paulo. v1, 3ª ed. 352 p. 2000.

MACHADO, S. A. Aplicabilidade de equações de regressão em inventários florestais. In: Congresso Florestal Brasileiro, 2., 1973, Curitiba.. **Anais...** Curitiba. FIEP, p. 175 – 177. 1973.

MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa***. Guarapuava. Revista Ciências Exatas e Naturais. V 4, n2, p 41-50. 2002.

MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba. Sebastião do Amaral Machado e Afonso Figueiredo Filho. 309p. 2003.

MACHADO, S.A.; MELLO, J. M. de; BARROS, D. A de. **Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área, para o pinheiro do Paraná, na Região Sul do Brasil**. Cerne, Lavras v. 6, n. 2, p 55-66. 2000.

MACHADO, S.A.; PIZATTO, W. **Tabela de volume do povoamento para florestas nativas de *Araucaria angustifolia* nos estados da região sul do Brasil**. Floresta, Curitiba, 26 (1/2): p. 11- 26. 1998.

MAZAROTTO, E. B. **Modelos matemáticos para estimar o volume em metros cúbicos com casca de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em diferentes idades**. Curitiba. 103 p. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, M.L.R. **Tabelas de volume de povoamento para fragmentos florestais nativos do município de Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa. 80 p. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

PARANA, GOVERNO DO ESTADO. **Estudo da biomassa e do mercado de energéticos de produtos florestais no sudeste paranaense**. Curitiba: Convênio COPEL/ITC/FUPEF/COMEC, apoio Ministério da Agricultura - IBDF. v 1, Relatório final. 149 p. 1985.

PEGORARO, A.; CARPANEZZI, A. A. **Avaliação do potencial melífero da bracatinga**. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 14, n. 2, p. 167- 172, 1995.

PEGORARO, A.; SILVA, F. C. **Espécies vegetais preferidas pela *Apis mellifera scutellata* (Hymenoptera: Apidae) em Colombo, Paraná**. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 25-31. 1996.

POGGIANI, F.; SIMÕES, J.W; MENDES FILHO, J.A. e MORAES, A. **Utilização de espécies de rápido crescimento na recuperação de áreas degradadas**. Piracicaba, IPEF, Série Técnica, 2(4), 25p. 1981.

PRODAN, M. et al. **Mensura forestal**. San José, Costa Rica. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 586 p. 1997.

REGAZZI, A. J; LEITE, H. G. **Análise de regressão: teoria e aplicações em manejo florestal**. REGAZZI, A. J; LEITE, H. G. Universidade Federal de Viçosa - UFV - MG, Departamento de Engenharia Florestal, SIF. 238p. 1993.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. **Projeto madeira de Santa Catarina**. Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues, 320 p. 1978.

ROCHADELLI, R. **Contribuição sócio-econômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na Região Metropolitana de Curitiba- Norte (RMC-N)**. Curitiba. 83 p. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROSOT, M. A. D. **Estudo comparativo de métodos para a avaliação volumétrica por unidade de área em um povoamento de *Pinus taeda* L**. Curitiba. 163 p. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y. M. M. de. **Área de distribuição natural da bracatinga**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS “Bracatinga uma opção para reflorestamento” 4., 1981, Curitiba. **Anais ...** Colombo: EMBRAPA-CNPQ, p. 1– 23. 1981.

SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF. 236p. 1998.

SCOLFORO, J.R.S. **Biometria florestal 2: técnica de regressão aplicada para estimar volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA/FAEPE. 292 p. 1997.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA/FAEPE. 441 p. 1998.

SHIVER, B.D.; BRISTER, G.G. **Tree and stand volume functions for *Eucalyptus saligna***. *Forest Ecology and Management*, 47. p. 211-223. 1992.

SILVA, J.A. **Estimativa do volume por hectare e sua composição em povoamentos de *Eucalyptus spp* nos cerrados em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul**. Curitiba, 85 p. 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

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

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Bioestadística: principios y procedimientos**. McGraw Hill. México. 622 p. 1989.

STEVENS, P. F. (2001 onwards). **Angiosperm Phylogeny Website**. Version 6, May 2005 [and more or less continuously updated since]." will do. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.

SUDESUL. **Estudo das alternativas técnicas, econômicas e sociais para o setor florestal do Paraná**. Curitiba: Convênio 28/76. SUDESUL/IBDF/UFPR. Relatório Final. 335 p. 1979.

TONON, A.E.N. **Efeitos da densidade inicial e do sítio sobre o crescimento e a produção de bracatingais da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba. 193 p. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

UNG, C.H.; OUELLET, D. **Stand volume tables: application to *black spruce* stands of Lebel-sur-Quévillon**. *Forestry Chronicle*. v. 67, n.6. p. 712-715. 1991.

VALENTIN, J.L. **Ecologia numérica**. Uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Interciência. Rio de Janeiro. 117 p. 2000.

ANEXOS

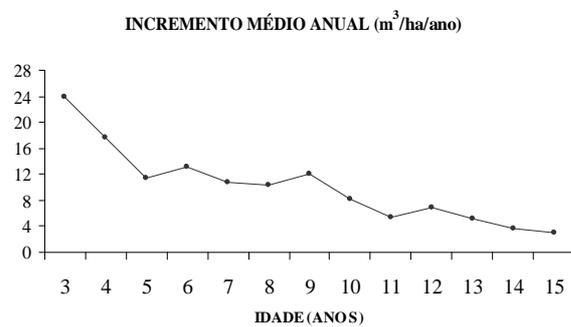
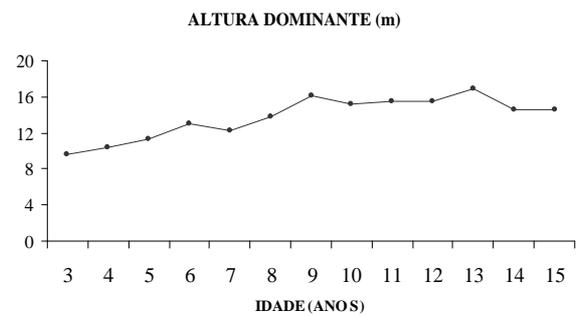
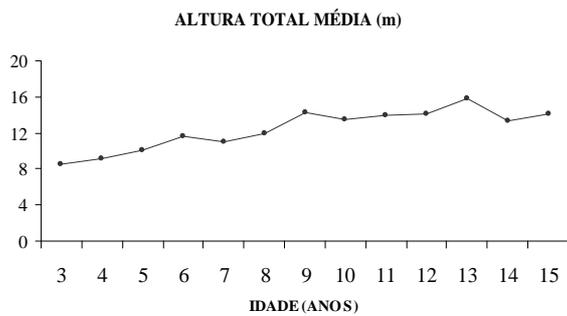
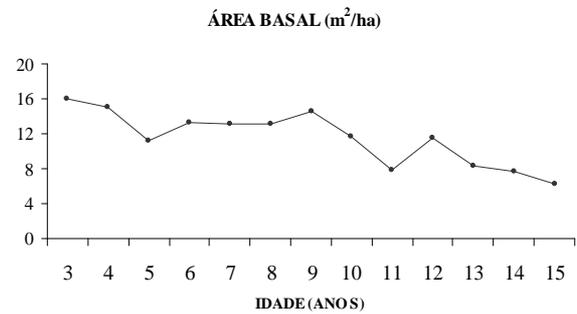
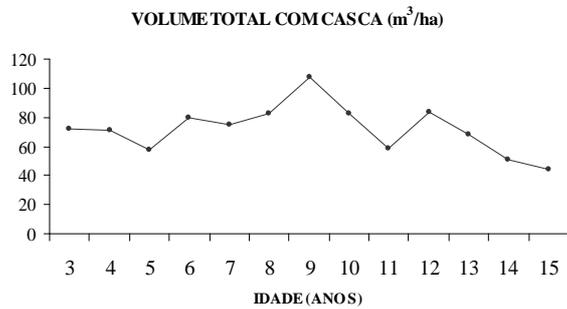
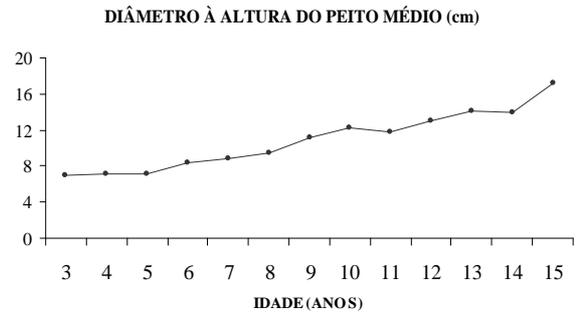
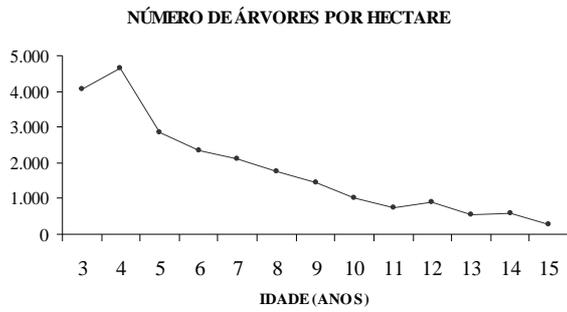
ANEXO I – MUNICIPIOS DA R.M.C. ONDE FORAM COLETADOS OS DADOS, COM SUAS RESPECTIVAS SUPERFICIES, ALTUTIDES E COORDENADAS GEOGRÁFICAS, DAS SEDES DOS MUNICÍPIOS.

Nº	MUNICIPIO	ÁREA (ha)	ALTITUDE (m)	LATITUDE SUL (S)	LONGITUDE OESTE (W)
1	Agudos do Sul	19.368,40	850	25°59'33"	48°20'07"
2	Almirante Tamandaré	18.865,20	950	25°19'29"	49°18'36"
3	Araucária	47.385,50	897	25°35'35"	49°24'37"
4	Balsa Nova	39.015,40	865	25°35'02"	49°38'08"
5	Bocaiúva do Sul	82.525,70	980	25°12'22"	49°06'54"
6	Campo Largo	135956,6	956	25°27'31"	49°31'42"
7	Colombo	19.970,40	950	25°17'30"	49°13'27"
8	Contenda	30.293,50	908	25°40'32"	49°32'05"
9	Piraquara	22.633,40	897	25°26'30"	49°03'48"
10	Quatro Barras	17.966,80	936	25°21'56"	49°04'37"
11	Rio Branco do Sul	81.740,10	892	25°11'24"	49°18'51"
12	São José dos Pinhais	94.561,20	906	25°32'05"	49°12'23"
13	Tunas do Paraná	67.146,10	906	24°58'28"	49°05'09"
14	Campina Grande do Sul	54.422,00	918	25°18'20"	49°03'19"
Total		731.850,30			

Fonte: http://www.pr.gov.br/ipardes/pdf/anuario_2003/fisico/posicao_geo.PDF.

Disponível em 11/02/2006.

ANEXO II - VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DO POVOAMENTO, POR IDADE (ANOS) INDEPENDENTEMENTE DO SÍTIO.



ANEXO III - MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

continua

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES													
	V	lnV	I	lnI	N	lnN	G	lnG	DAP	lnDAP	h	lnh	dg
v	1,000												
ln V	0,950	1,000											
I	0,058	-0,039	1,000										
ln I	0,079	-0,014	0,978	1,000									
N	0,040	0,123	-0,657	-0,700	1,000								
ln N	0,235	0,363	-0,805	-0,797	0,818	1,000							
G	0,837	0,851	-0,345	-0,343	0,433	0,620	1,000						
ln G	0,800	0,892	-0,376	-0,364	0,436	0,690	0,950	1,000					
\bar{d}	0,163	0,044	0,832	0,804	-0,715	-0,882	-0,243	-0,309	1,000				
ln \bar{d}	0,199	0,087	0,825	0,821	-0,812	-0,884	-0,222	-0,282	0,978	1,000			
\bar{h}	0,435	0,350	0,683	0,701	-0,607	-0,626	-0,090	-0,103	0,754	0,777	1,000		
ln \bar{h}	0,433	0,353	0,684	0,715	-0,646	-0,630	-0,093	-0,104	0,743	0,782	0,991	1,000	
d_g	0,163	0,046	0,831	0,803	-0,712	-0,881	-0,241	-0,305	0,999	0,977	0,746	0,736	1,000
ln d_g	0,202	0,091	0,825	0,820	-0,805	-0,882	-0,217	-0,277	0,978	0,999	0,771	0,776	0,979
h_{dom}	0,454	0,383	0,621	0,654	-0,543	-0,528	-0,057	-0,053	0,641	0,675	0,930	0,931	0,637
ln h_{dom}	0,437	0,371	0,620	0,663	-0,560	-0,528	-0,071	-0,065	0,624	0,667	0,913	0,929	0,621
GNh	0,384	0,423	-0,584	-0,605	0,900	0,805	0,703	0,650	-0,602	-0,662	-0,415	-0,434	-0,599
ln GNh	0,560	0,680	-0,644	-0,626	0,688	0,928	0,818	0,891	-0,677	-0,661	-0,350	-0,351	-0,676
$G \bar{h}$	0,998	0,947	0,065	0,085	0,026	0,223	0,831	0,794	0,178	0,213	0,448	0,445	0,176
ln $G \bar{h}$	0,949	0,998	-0,036	-0,011	0,110	0,355	0,847	0,888	0,054	0,097	0,362	0,364	0,054
Gh	0,987	0,942	0,033	0,061	0,065	0,265	0,832	0,799	0,120	0,158	0,407	0,409	0,121
ln Gh	0,935	0,990	-0,065	-0,035	0,148	0,396	0,843	0,892	-0,001	0,043	0,319	0,325	0,001
G^2	0,808	0,769	-0,298	-0,303	0,390	0,528	0,973	0,859	-0,178	-0,158	-0,080	-0,085	-0,175
ln G^2	0,800	0,892	-0,376	-0,364	0,436	0,690	0,950	1,000	-0,309	-0,282	-0,103	-0,104	-0,305
$G^2 h_{dom}$	0,945	0,862	-0,077	-0,062	0,176	0,342	0,908	0,808	0,029	0,059	0,221	0,221	0,030
ln $G^2 h_{dom}$	0,895	0,969	-0,220	-0,198	0,294	0,552	0,920	0,970	-0,153	-0,116	0,120	0,122	-0,150
$G^2 \bar{h}$	0,951	0,866	-0,063	-0,054	0,154	0,321	0,909	0,808	0,060	0,088	0,240	0,237	0,059
ln $G^2 \bar{h}$	0,903	0,974	-0,206	-0,187	0,276	0,532	0,923	0,970	-0,125	-0,089	0,141	0,142	-0,123
$ln \bar{d}^2$	0,125	0,003	0,804	0,756	-0,621	-0,850	-0,253	-0,322	0,983	0,926	0,704	0,681	0,981
d_g^2	0,199	0,087	0,825	0,821	-0,812	-0,884	-0,222	-0,282	0,978	1,000	0,777	0,782	0,977
ln d_g^2	0,123	0,003	0,803	0,756	-0,621	-0,851	-0,253	-0,320	0,982	0,926	0,695	0,673	0,984
\bar{h}^2	0,202	0,091	0,825	0,820	-0,805	-0,882	-0,217	-0,277	0,978	0,999	0,771	0,776	0,979
ln \bar{h}^2	0,429	0,339	0,669	0,675	-0,563	-0,611	-0,086	-0,100	0,751	0,758	0,991	0,964	0,742
h_{dom}^2	0,433	0,353	0,684	0,715	-0,646	-0,630	-0,093	-0,104	0,743	0,782	0,991	1,000	0,736
ln h_{dom}^2	0,461	0,386	0,610	0,634	-0,517	-0,518	-0,046	-0,042	0,643	0,667	0,929	0,916	0,639
$\bar{d} h_{dom}$	0,437	0,371	0,620	0,663	-0,560	-0,528	-0,071	-0,065	0,624	0,667	0,913	0,929	0,621
ln $\bar{d} h_{dom}$	0,306	0,192	0,811	0,792	-0,658	-0,794	-0,178	-0,220	0,939	0,920	0,898	0,875	0,936
$\bar{d}^2 h_{dom}$	0,319	0,217	0,812	0,827	-0,778	-0,812	-0,178	-0,215	0,915	0,948	0,905	0,915	0,913
ln $\bar{d}^2 h_{dom}$	0,225	0,104	0,796	0,749	-0,590	-0,796	-0,204	-0,258	0,954	0,897	0,804	0,769	0,951
$\bar{d} d_g$	0,275	0,167	0,828	0,835	-0,802	-0,851	-0,198	-0,245	0,952	0,981	0,865	0,873	0,951
ln $\bar{d} d_g$	0,124	0,003	0,804	0,756	-0,622	-0,851	-0,253	-0,321	0,983	0,926	0,700	0,678	0,983
$\bar{d}^2 d_g$	0,201	0,089	0,825	0,821	-0,809	-0,883	-0,220	-0,280	0,978	1,000	0,774	0,779	0,978
ln $\bar{d}^2 d_g$	0,091	-0,031	0,760	0,696	-0,540	-0,803	-0,254	-0,324	0,945	0,862	0,641	0,611	0,943
$\bar{d}^2 \bar{h}$	0,200	0,089	0,825	0,821	-0,810	-0,884	-0,220	-0,280	0,978	1,000	0,775	0,780	0,978
ln $\bar{d}^2 \bar{h}$	0,207	0,085	0,784	0,733	-0,577	-0,794	-0,211	-0,269	0,951	0,888	0,796	0,757	0,946
$N \bar{d}$	0,268	0,159	0,825	0,829	-0,805	-0,857	-0,199	-0,249	0,960	0,987	0,865	0,871	0,957
ln $N \bar{d}$	0,326	0,406	-0,718	-0,741	0,907	0,922	0,718	0,706	-0,724	-0,764	-0,552	-0,571	-0,722
GN	0,445	0,570	-0,718	-0,710	0,745	0,968	0,775	0,844	-0,747	-0,738	-0,486	-0,489	-0,747
ln GN	0,206	0,261	-0,597	-0,642	0,964	0,779	0,589	0,543	-0,614	-0,699	-0,527	-0,565	-0,609
l / N	0,452	0,577	-0,715	-0,705	0,746	0,967	0,784	0,852	-0,747	-0,739	-0,489	-0,493	-0,745
ln l / N	-0,343	-0,504	0,538	0,500	-0,428	-0,785	-0,538	-0,702	0,657	0,591	0,351	0,343	0,655
l / I	-0,235	-0,363	0,805	0,797	-0,818	-1,000	-0,620	-0,690	0,882	0,884	0,626	0,630	0,881
ln l / I	-0,099	-0,013	-0,910	-0,975	0,710	0,747	0,325	0,334	-0,735	-0,772	-0,686	-0,713	-0,734
ln l / I	-0,079	0,014	-0,978	-1,000	0,700	0,797	0,343	0,364	-0,804	-0,821	-0,701	-0,715	-0,803
$G \bar{h}^2$	0,923	0,835	0,312	0,327	-0,204	-0,063	0,580	0,557	0,421	0,446	0,710	0,693	0,416
ln $G \bar{h}^2$	0,923	0,933	0,225	0,257	-0,151	0,051	0,645	0,674	0,319	0,368	0,658	0,664	0,317
$G \bar{h}_{dom}^2$	0,921	0,842	0,257	0,286	-0,154	0,004	0,597	0,579	0,333	0,367	0,648	0,641	0,332
ln $G \bar{h}_{dom}^2$	0,907	0,926	0,173	0,212	-0,085	0,126	0,649	0,690	0,225	0,276	0,586	0,597	0,226
$G^2 N$	0,309	0,335	-0,536	-0,581	0,885	0,714	0,676	0,588	-0,517	-0,587	-0,459	-0,493	-0,512
ln $G^2 N$	0,559	0,679	-0,645	-0,635	0,685	0,921	0,852	0,917	-0,651	-0,638	-0,400	-0,403	-0,649

V = volume total com casca por hectare (m^3/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m^2/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

continuação

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES												
	Indg	h _{dom}	lnh _{dom}	GNh _{dom}	lnGNh _{dom}	Gh	lnGh	Gh _{dom}	lnGh _{dom}	G ²	lnG ²	G ² h _{dom}
ln d _g	1.000											
h _{dom}	0.673	1.000										
ln h _{dom}	0.665	0.990	1.000									
GNh _{dom}	-0.654	-0.329	-0.334	1.000								
ln GNh _{dom}	-0.658	-0.243	-0.245	0.799	1.000							
G \bar{h}	0.213	0.452	0.434	0.367	0.548	1.000						
ln G \bar{h}	0.099	0.381	0.369	0.408	0.672	0.949	1.000					
Gh _{dom}	0.160	0.479	0.467	0.415	0.588	0.982	0.938	1.000				
ln Gh _{dom}	0.046	0.400	0.393	0.448	0.710	0.929	0.985	0.948	1.000			
G ²	-0.153	-0.063	-0.078	0.684	0.712	0.803	0.765	0.799	0.756	1.000		
ln G ²	-0.277	-0.053	-0.065	0.650	0.891	0.794	0.888	0.799	0.892	0.859	1.000	
G ² h _{dom}	0.062	0.266	0.256	0.531	0.612	0.940	0.859	0.950	0.861	0.926	0.808	1.000
ln G ² h _{dom}	-0.112	0.188	0.179	0.560	0.819	0.888	0.965	0.901	0.975	0.828	0.970	0.859
G ² \bar{h}	0.090	0.247	0.232	0.501	0.591	0.951	0.866	0.938	0.849	0.929	0.808	0.993
ln G ² \bar{h}	-0.085	0.176	0.164	0.541	0.801	0.900	0.973	0.896	0.968	0.834	0.970	0.859
\bar{d}^{-2}	0.925	0.583	0.562	-0.541	-0.669	0.140	0.013	0.082	-0.042	-0.188	-0.322	0.002
ln \bar{d}^{-2}	0.999	0.675	0.667	-0.662	-0.661	0.213	0.097	0.158	0.043	-0.158	-0.282	0.059
d _g ²	0.928	0.579	0.558	-0.540	-0.669	0.136	0.011	0.080	-0.042	-0.188	-0.320	0.001
ln d _g ²	1.000	0.673	0.665	-0.654	-0.658	0.213	0.099	0.160	0.046	-0.153	-0.277	0.062
\bar{h}^{-2}	0.752	0.911	0.880	-0.393	-0.344	0.443	0.352	0.397	0.307	-0.076	-0.100	0.215
ln \bar{h}^{-2}	0.776	0.931	0.929	-0.434	-0.351	0.445	0.364	0.409	0.325	-0.085	-0.104	0.221
h _{dom} ²	0.666	0.992	0.965	-0.319	-0.236	0.459	0.384	0.482	0.399	-0.051	-0.042	0.270
ln h _{dom} ²	0.665	0.990	1.000	-0.334	-0.245	0.434	0.369	0.467	0.393	-0.078	-0.065	0.256
$\bar{d} \bar{h}$ _{dom}	0.919	0.843	0.815	-0.515	-0.541	0.316	0.199	0.284	0.167	-0.138	-0.220	0.134
ln $\bar{d} \bar{h}$ _{dom}	0.946	0.870	0.870	-0.581	-0.543	0.327	0.222	0.305	0.197	-0.138	-0.215	0.149
$\bar{d}^{-2} \bar{h}$ _{dom}	0.895	0.712	0.679	-0.494	-0.582	0.239	0.114	0.192	0.070	-0.155	-0.258	0.076
ln $\bar{d}^{-2} \bar{h}$ _{dom}	0.980	0.802	0.799	-0.621	-0.597	0.285	0.175	0.249	0.137	-0.148	-0.245	0.114
$\bar{d} \bar{d}_g$	0.927	0.582	0.560	-0.541	-0.670	0.138	0.012	0.081	-0.042	-0.188	-0.321	0.002
ln $\bar{d} \bar{d}_g$	1.000	0.674	0.666	-0.658	-0.660	0.213	0.098	0.159	0.044	-0.156	-0.280	0.060
$\bar{d}^{-2} \bar{d}_g$	0.862	0.517	0.494	-0.484	-0.647	0.107	-0.021	0.049	-0.075	-0.190	-0.324	-0.018
ln $\bar{d}^{-2} \bar{d}_g$	1.000	0.674	0.666	-0.659	-0.660	0.213	0.098	0.159	0.044	-0.157	-0.280	0.060
$\bar{d}^{-2} \bar{h}$	0.885	0.671	0.638	-0.491	-0.592	0.225	0.098	0.163	0.041	-0.159	-0.269	0.058
ln $\bar{d}^{-2} \bar{h}$	0.985	0.769	0.762	-0.632	-0.610	0.281	0.170	0.229	0.116	-0.146	-0.249	0.103
N \bar{d}	-0.760	-0.486	-0.495	0.946	0.880	0.314	0.397	0.347	0.426	0.673	0.706	0.468
ln N \bar{d}	-0.737	-0.400	-0.404	0.806	0.984	0.436	0.564	0.467	0.594	0.676	0.844	0.525
GN	-0.690	-0.477	-0.498	0.959	0.709	0.191	0.248	0.221	0.275	0.575	0.543	0.358
ln GN	-0.736	-0.401	-0.405	0.812	0.986	0.442	0.570	0.474	0.601	0.685	0.852	0.533
I / N	0.590	0.248	0.248	-0.448	-0.819	-0.336	-0.498	-0.362	-0.534	-0.410	-0.702	-0.337
ln I / N	0.882	0.528	0.528	-0.805	-0.928	-0.223	-0.355	-0.265	-0.396	-0.528	-0.690	-0.342
I / I	-0.771	-0.655	-0.675	0.597	0.574	-0.104	-0.017	-0.089	0.002	0.296	0.334	0.042
ln I / I	-0.820	-0.654	-0.663	0.605	0.626	-0.085	0.011	-0.061	0.035	0.303	0.364	0.062
G \bar{h}^{-2}	0.443	0.687	0.658	0.103	0.281	0.931	0.841	0.899	0.811	0.556	0.557	0.792
ln G \bar{h}^{-2}	0.368	0.652	0.641	0.167	0.410	0.927	0.938	0.905	0.912	0.583	0.674	0.772
G \bar{h}^{-2} _{dom}	0.367	0.725	0.701	0.173	0.349	0.916	0.838	0.938	0.851	0.568	0.579	0.819
ln G \bar{h}^{-2} _{dom}	0.278	0.679	0.678	0.237	0.479	0.900	0.922	0.928	0.943	0.577	0.690	0.781
G ² N	-0.577	-0.422	-0.444	0.953	0.686	0.295	0.323	0.317	0.340	0.694	0.588	0.480
ln G ² N	-0.635	-0.319	-0.326	0.793	0.990	0.549	0.672	0.575	0.697	0.752	0.917	0.623

V = volume total com casca por hectare (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

continuação

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES												
	$\ln G^2 h_{dom}$	$G^2 \bar{h}$	$\ln G^2 \bar{h}$	DAP^2	$\ln DAP^2$	d_g^2	$\ln d_g^2$	h^2	$\ln h^2$	h_{dom}^2	$\ln h_{dom}^2$	$DAPH_{dom}$
$\ln G^2 h_{dom}$	1,000											
$G^2 \bar{h}$	0,853	1,000										
$\ln G^2 \bar{h}$	0,996	0,862	1,000									
\bar{d}^2	-0,182	0,033	-0,153	1,000								
$\ln \bar{d}^2$	-0,116	0,088	-0,089	0,926	1,000							
d_g^2	-0,180	0,030	-0,154	0,998	0,926	1,000						
$\ln d_g^2$	-0,112	0,090	-0,085	0,925	0,999	0,928	1,000					
\bar{h}^2	0,115	0,237	0,137	0,714	0,758	0,703	0,752	1,000				
$\ln \bar{h}^2$	0,122	0,237	0,142	0,681	0,782	0,673	0,776	0,964	1,000			
h_{dom}^2	0,193	0,255	0,183	0,592	0,667	0,588	0,666	0,924	0,916	1,000		
$\ln h_{dom}^2$	0,179	0,232	0,164	0,562	0,667	0,558	0,665	0,880	0,929	0,965	1,000	
$\bar{d} h_{dom}$	-0,019	0,150	-0,003	0,920	0,920	0,916	0,919	0,903	0,875	0,853	0,815	1,000
$\ln \bar{d} h_{dom}$	-0,001	0,158	0,011	0,854	0,948	0,852	0,946	0,879	0,915	0,855	0,870	0,958
$\bar{d}^2 h_{dom}$	-0,090	0,100	-0,068	0,970	0,897	0,966	0,895	0,824	0,769	0,731	0,679	0,972
$\ln \bar{d}^2 h_{dom}$	-0,047	0,132	-0,029	0,894	0,981	0,893	0,980	0,841	0,873	0,790	0,799	0,955
$\bar{d} d_g$	-0,181	0,032	-0,153	0,999	0,926	0,999	0,927	0,709	0,678	0,590	0,560	0,918
$\ln \bar{d} d_g$	-0,114	0,089	-0,087	0,926	1,000	0,927	1,000	0,755	0,779	0,667	0,666	0,919
$\bar{d}^2 d_g$	-0,200	0,012	-0,173	0,988	0,862	0,986	0,862	0,659	0,611	0,531	0,494	0,877
$\ln \bar{d}^2 d_g$	-0,115	0,089	-0,088	0,926	1,000	0,927	1,000	0,756	0,780	0,667	0,666	0,920
$\bar{d} h$	-0,111	0,090	-0,082	0,974	0,888	0,967	0,885	0,819	0,757	0,691	0,638	0,954
$\ln \bar{d} h$	-0,060	0,130	-0,034	0,903	0,987	0,901	0,985	0,843	0,871	0,760	0,762	0,948
$N \bar{d}$	0,576	0,451	0,562	-0,668	-0,764	-0,668	-0,760	-0,527	-0,571	-0,469	-0,495	-0,660
$\ln N \bar{d}$	0,734	0,511	0,720	-0,729	-0,738	-0,730	-0,737	-0,475	-0,489	-0,390	-0,404	-0,652
GN	0,415	0,341	0,402	-0,534	-0,699	-0,533	-0,690	-0,487	-0,565	-0,450	-0,498	-0,568
$\ln GN$	0,742	0,517	0,727	-0,728	-0,739	-0,728	-0,736	-0,478	-0,493	-0,390	-0,405	-0,652
$1/N$	-0,632	-0,326	-0,614	0,697	0,591	0,694	0,590	0,352	0,343	0,243	0,248	0,541
$\ln 1/N$	-0,552	-0,321	-0,532	0,850	0,884	0,851	0,882	0,611	0,630	0,518	0,528	0,794
$1/I$	0,166	0,038	0,157	-0,673	-0,772	-0,673	-0,771	-0,649	-0,713	-0,626	-0,675	-0,735
$\ln 1/I$	0,198	0,054	0,187	-0,756	-0,821	-0,756	-0,820	-0,675	-0,715	-0,634	-0,663	-0,792
$G \bar{h}^2$	0,708	0,809	0,724	0,384	0,446	0,376	0,443	0,714	0,693	0,703	0,658	0,588
$\ln G \bar{h}^2$	0,821	0,783	0,834	0,264	0,368	0,259	0,368	0,640	0,664	0,649	0,641	0,485
$G \bar{h}_{dom}^2$	0,741	0,805	0,734	0,290	0,367	0,287	0,367	0,643	0,641	0,736	0,701	0,536
$\ln G \bar{h}_{dom}^2$	0,845	0,764	0,833	0,170	0,276	0,169	0,278	0,565	0,597	0,669	0,678	0,430
$G^2 N$	0,472	0,466	0,464	-0,452	-0,587	-0,450	-0,577	-0,423	-0,493	-0,396	-0,444	-0,486
$\ln G^2 N$	0,825	0,611	0,814	-0,641	-0,638	-0,641	-0,635	-0,390	-0,403	-0,308	-0,326	-0,555

V = volume total com casca por hectare (m^3/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m^2/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES

conclusão

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES										
	lnDAP _{h_{dom}}	DAP ² _{h_{dom}}	lnDAP ² _{h_{dom}}	DAP _{dg}	lnDAP _{dg}	DAP ² _{dg}	lnDAP ² _{dg}	DAP ² _h	lnDAP ² _h	NDAP
ln $\bar{d} \bar{h}_{dom}$	1,000									
$\bar{d}^2 \bar{h}_{dom}$	0,885	1,000								
ln $\bar{d}^2 \bar{h}_{dom}$	0,992	0,901	1,000							
$\bar{d} \bar{d}_g$	0,854	0,969	0,894	1,000						
ln $\bar{d} \bar{d}_g$	0,947	0,896	0,981	0,927	1,000					
$\bar{d}^2 \bar{d}_g$	0,782	0,956	0,824	0,988	0,862	1,000				
ln $\bar{d}^2 \bar{d}_g$	0,948	0,896	0,981	0,927	1,000	0,862	1,000			
$\bar{d} \bar{h}$	0,861	0,994	0,883	0,971	0,887	0,965	0,887	1,000		
ln $\bar{d} \bar{h}$	0,980	0,903	0,996	0,903	0,986	0,835	0,987	0,893	1,000	
N \bar{d}	-0,718	-0,629	-0,746	-0,668	-0,762	-0,608	-0,763	-0,621	-0,748	1,000
ln N \bar{d}	-0,662	-0,667	-0,701	-0,730	-0,738	-0,696	-0,738	-0,669	-0,707	0,919
GN	-0,676	-0,508	-0,694	-0,534	-0,694	-0,465	-0,696	-0,497	-0,695	0,930
ln GN	-0,663	-0,667	-0,702	-0,729	-0,738	-0,695	-0,738	-0,669	-0,708	0,916
1 / N	0,498	0,615	0,542	0,696	0,591	0,714	0,591	0,634	0,553	-0,581
ln 1 / N	0,812	0,796	0,851	0,851	0,883	0,803	0,884	0,794	0,857	-0,922
1 / I	-0,800	-0,669	-0,799	-0,673	-0,772	-0,605	-0,772	-0,651	-0,790	0,728
ln 1 / I	-0,827	-0,749	-0,835	-0,756	-0,821	-0,696	-0,821	-0,733	-0,829	0,741
G \bar{h}^2	0,577	0,505	0,531	0,380	0,445	0,341	0,445	0,490	0,528	0,019
ln G \bar{h}^2	0,518	0,377	0,464	0,262	0,368	0,210	0,368	0,360	0,459	0,107
G \bar{h}_{dom}^2	0,543	0,426	0,479	0,288	0,367	0,246	0,367	0,388	0,453	0,070
ln G \bar{h}_{dom}^2	0,473	0,302	0,399	0,170	0,277	0,119	0,277	0,264	0,370	0,161
G ² N	-0,579	-0,434	-0,589	-0,451	-0,582	-0,396	-0,584	-0,424	-0,588	0,903
ln G ² N	-0,562	-0,577	-0,600	-0,641	-0,637	-0,617	-0,637	-0,582	-0,606	0,887

MATRIZ DE CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES													
	lnNDAP	GN	lnGN	1/N	ln1/N	1/I	ln1/I	G \bar{h}^2	lnG \bar{h}^2	G \bar{h}_{dom}^2	lnG \bar{h}_{dom}^2	G ² N	lnG ² N
ln N \bar{d}	1,000												
GN	0,749	1,000											
ln GN	0,998	0,755	1,000										
1 / N	-0,814	-0,396	-0,815	1,000									
ln 1 / N	-0,968	-0,779	-0,967	0,785	1,000								
1 / I	0,663	0,661	0,658	-0,436	-0,747	1,000							
ln 1 / I	0,710	0,642	0,705	-0,500	-0,797	0,975	1,000						
G \bar{h}^2	0,148	-0,065	0,151	-0,143	0,063	-0,332	-0,327	1,000					
ln G \bar{h}^2	0,271	-0,011	0,275	-0,273	-0,051	-0,278	-0,257	0,933	1,000				
G \bar{h}_{dom}^2	0,203	-0,022	0,207	-0,192	-0,004	-0,305	-0,286	0,959	0,911	1,000			
ln G \bar{h}_{dom}^2	0,329	0,039	0,334	-0,337	-0,126	-0,243	-0,212	0,888	0,962	0,936	1,000		
G ² N	0,716	0,976	0,724	-0,355	-0,714	0,607	0,581	0,029	0,076	0,064	0,111	1,000	
ln G ² N	0,986	0,721	0,990	-0,809	-0,921	0,591	0,635	0,264	0,390	0,313	0,440	0,709	1,000

V = volume total com casca por hectare (m³/ha); I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); ln = logaritmo neperiano.

ANEXO IV - PARCELAS EXCLUÍDAS

UNIDADES AMOSTRIAS QUE FORAM CARACTERIZADAS COMO DADOS DISCREPANTES.

PARCELAS EXCLUÍDAS												
Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)	Classe sítio	IS (m)
59	9,0	2.370	110,80	16,73	9,2	17,83	0,0467	0,0071	9,5	15,1	II	13,5
94	9,0	2.000	224,83	29,30	12,9	14,55	0,1124	0,0146	13,7	16,5	II	13,5
96	4,5	5.800	144,20	34,74	8,3	7,85	0,0249	0,0060	8,7	9,5	III	10,2
97	5,5	2.400	174,02	27,13	11,1	11,58	0,0725	0,0113	12,0	15,5	I	16,8
104	6,5	2.200	155,09	24,22	11,1	12,36	0,0705	0,0110	11,8	13,0	II	13,5
109	5,0	4.500	195,73	33,12	9,2	11,19	0,0435	0,0074	9,7	13,5	I	16,8
110	5,0	4.200	238,92	38,96	10,3	11,37	0,0569	0,0093	10,9	14,5	I	16,8
118	3,5	3.100	166,53	29,09	10,6	10,97	0,0537	0,0094	10,9	13,5	II	13,5
121	6,5	5.200	136,13	29,80	8,2	8,87	0,0262	0,0057	8,5	9,5	III	10,2
122	13,5	2.700	353,10	56,01	15,6	12,33	0,1308	0,0207	16,3	13,5	III	10,2
123	8,5	3.000	234,28	43,62	13,1	10,43	0,0781	0,0145	13,6	12,0	III	10,2
124	8,0	2.400	243,54	39,88	13,8	11,65	0,1015	0,0166	14,5	14,0	II	13,5

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

ANEXO V - BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO

continua

Parcela	Idade (anos)	BASE DE DADOS										Classe sítio	IS (m)
		N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)			
2	10,0	1.550	94,54	16,32	10,7	10,7	0,0610	0,0105	11,6	12,9	III	10,2	
3	10,0	300	25,09	4,13	12,3	10,9	0,0836	0,0138	13,2	13,5	III	10,2	
4	10,0	350	93,04	10,24	18,7	18,1	0,2658	0,0292	19,3	19,1	I	16,8	
5	10,0	1.050	76,96	13,14	12,0	11,3	0,0733	0,0125	12,6	12,6	III	10,2	
6	11,0	900	134,68	15,34	14,4	17,2	0,1496	0,0170	14,7	18,2	I	16,8	
7	11,0	850	89,52	10,44	12,1	16,4	0,1053	0,0123	12,5	17,5	II	13,5	
8	11,0	600	60,83	7,61	12,3	15,8	0,1014	0,0127	12,7	17,5	II	13,5	
9	11,0	800	88,11	10,64	12,6	16,2	0,1101	0,0133	13,0	19,1	I	16,8	
11	12,0	400	53,99	7,42	14,4	13,0	0,1350	0,0185	15,4	16,5	II	13,5	
12	12,0	500	67,71	9,93	15,1	12,8	0,1354	0,0199	15,9	14,8	II	13,5	
13	12,0	550	96,28	13,49	17,5	14,4	0,1750	0,0245	17,7	14,5	III	10,2	
14	12,0	600	54,10	8,26	13,0	12,4	0,0902	0,0138	13,2	15,5	II	13,5	
15	6,5	1.778	66,85	11,07	8,7	11,9	0,0376	0,0062	8,9	13,5	II	13,5	
16	6,5	1.259	30,60	6,61	7,9	9,0	0,0243	0,0052	8,2	10,6	III	10,2	
17	6,5	1.889	61,44	10,61	8,2	11,3	0,0325	0,0056	8,5	12,7	II	13,5	
18	6,5	630	26,03	4,80	9,6	10,7	0,0413	0,0076	9,9	10,2	III	10,2	
19	6,5	1.963	72,56	11,23	8,3	12,6	0,0370	0,0057	8,5	13,9	II	13,5	
21	6,5	1.444	75,82	11,66	9,8	12,5	0,0525	0,0081	10,1	14,1	II	13,5	
22	6,5	2.296	64,46	11,78	7,9	10,9	0,0281	0,0051	8,1	11,1	III	10,2	
23	6,5	2.333	86,05	13,25	8,3	12,7	0,0369	0,0057	8,5	13,9	II	13,5	
24	12,0	1.444	133,96	18,96	12,4	13,7	0,0927	0,0131	12,9	15,6	II	13,5	
25	12,0	1.444	86,01	13,89	10,5	11,9	0,0595	0,0096	11,1	13,6	III	10,2	
26	12,0	1.259	76,80	11,26	10,4	13,1	0,0610	0,0089	10,7	16,8	II	13,5	
27	12,0	1.074	94,62	12,76	12,0	14,8	0,0881	0,0110	12,3	15,0	II	13,5	
28	12,0	1.630	86,61	12,99	9,8	12,9	0,0531	0,0080	10,1	14,8	II	13,5	
29	12,0	1.333	76,49	12,22	10,6	12,5	0,0574	0,0092	10,8	12,8	III	10,2	
30	5,5	1.778	35,04	7,03	6,9	9,8	0,0197	0,0040	7,1	10,6	III	10,2	
31	5,5	2.778	49,49	9,55	6,5	10,3	0,0178	0,0034	6,6	12,1	II	13,5	
32	5,5	2.037	35,00	7,38	6,7	9,4	0,0172	0,0036	6,8	10,4	III	10,2	
33	5,5	2.593	53,56	10,13	6,9	10,4	0,0207	0,0039	7,1	12,5	II	13,5	
34	5,5	1.963	47,45	9,10	7,5	10,3	0,0242	0,0046	7,7	11,0	II	13,5	
35	5,5	1.593	40,49	7,58	7,6	10,7	0,0254	0,0048	7,8	11,1	II	13,5	
36	18,0	407	134,30	14,24	20,6	18,8	0,3296	0,0349	21,1	20,3	II	13,5	
37	18,0	630	136,22	16,85	17,6	15,3	0,2164	0,0268	18,5	17,5	II	13,5	
38	18,0	593	152,20	16,49	18,5	18,4	0,2568	0,0278	18,8	19,0	II	13,5	
39	18,0	481	147,13	16,10	19,9	18,7	0,3056	0,0334	20,6	18,6	II	13,5	
41	6,5	2.000	96,95	15,07	9,5	12,5	0,0485	0,0075	9,8	14,0	II	13,5	
42	6,5	3.074	109,90	17,32	8,2	12,4	0,0358	0,0056	8,5	14,2	II	13,5	
43	6,5	1.963	88,74	13,03	8,9	13,3	0,0452	0,0066	9,2	15,4	I	16,8	
44	6,5	1.815	59,05	9,79	8,0	11,8	0,0325	0,0054	8,3	13,2	II	13,5	
45	6,5	1.926	81,40	12,25	8,7	13,1	0,0423	0,0064	9,0	14,6	II	13,5	
46	5,0	2.370	33,84	7,82	6,4	8,6	0,0143	0,0033	6,5	9,6	III	10,2	

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{V} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO.

continuação

BASE DE DADOS												
Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)	Classe sítio	IS (m)
47	5,0	2.148	47,33	9,11	7,2	10,3	0,0220	0,0042	7,3	12,1	II	13,5
48	5,0	2.519	53,11	9,98	7,0	10,5	0,0211	0,0040	7,1	12,3	II	13,5
49	5,0	3.148	78,76	12,89	7,1	12,0	0,0250	0,0041	7,2	13,6	I	16,8
51	5,0	1.815	57,48	9,83	8,0	11,5	0,0317	0,0054	8,3	12,9	II	13,5
52	5,0	1.741	36,69	7,51	7,2	9,5	0,0211	0,0043	7,4	10,6	II	13,5
53	5,0	2.556	85,52	14,27	8,2	11,8	0,0335	0,0056	8,4	13,2	I	16,8
54	5,0	2.296	41,39	9,43	7,1	8,7	0,0180	0,0041	7,2	10,0	III	10,2
55	5,0	1.815	43,64	8,58	7,6	10,0	0,0240	0,0047	7,8	11,4	II	13,5
56	5,0	2.630	40,83	8,77	6,4	9,3	0,0155	0,0033	6,5	11,2	II	13,5
57	5,0	2.630	81,74	13,60	7,8	11,6	0,0311	0,0052	8,1	13,4	I	16,8
58	9,0	1.370	143,47	17,81	12,5	16,1	0,1047	0,0130	12,9	17,4	I	16,8
61	9,0	1.815	137,55	17,63	10,7	14,8	0,0758	0,0097	11,1	16,7	II	13,5
62	9,0	2.074	130,46	17,08	10,0	15,0	0,0679	0,0082	10,2	17,0	I	16,8
63	9,0	1.185	159,21	18,79	13,5	16,4	0,1343	0,0159	14,2	18,5	I	16,8
64	12,0	333	84,04	9,96	17,9	16,6	0,2521	0,0299	19,5	17,2	II	13,5
65	12,0	1.259	130,80	16,73	12,5	14,9	0,1039	0,0133	13,0	17,5	II	13,5
66	12,0	667	79,05	9,88	12,9	15,3	0,1186	0,0148	13,7	17,0	II	13,5
67	12,0	926	75,28	10,25	11,5	14,4	0,0818	0,0111	11,9	15,1	II	13,5
68	12,0	889	96,99	13,34	13,4	14,2	0,1091	0,0150	13,8	16,0	II	13,5
69	12,0	815	94,96	11,11	12,7	16,7	0,1165	0,0136	13,2	12,9	III	10,2
70	7,0	2.148	97,67	15,99	9,3	11,9	0,0455	0,0074	9,7	13,0	II	13,5
71	7,0	2.074	90,96	14,83	9,2	12,0	0,0439	0,0072	9,5	12,9	II	13,5
72	7,0	2.667	88,97	15,92	8,4	11,1	0,0334	0,0060	8,7	11,8	III	10,2
73	7,0	2.963	105,28	17,43	8,4	11,9	0,0355	0,0059	8,7	12,6	II	13,5
74	7,0	2.259	97,80	15,48	9,0	12,3	0,0433	0,0069	9,3	14,1	II	13,5
75	7,0	2.704	84,04	13,80	7,8	11,9	0,0311	0,0051	8,1	12,6	II	13,5
76	7,0	2.963	54,41	11,49	6,9	9,4	0,0184	0,0039	7,0	10,5	III	10,2
77	7,0	2.704	44,62	9,85	6,7	9,0	0,0165	0,0036	6,8	10,2	III	10,2
78	7,0	2.333	43,97	9,87	7,1	8,8	0,0188	0,0042	7,3	9,8	III	10,2
79	7,0	2.481	48,08	10,15	7,1	9,4	0,0194	0,0041	7,2	10,3	III	10,2
81	7,0	2.704	49,72	10,90	7,0	9,1	0,0184	0,0040	7,2	9,5	III	10,2
82	7,5	1.259	55,84	9,80	9,5	11,2	0,0443	0,0078	10,0	12,2	III	10,2
83	7,5	1.481	95,86	15,40	11,1	12,3	0,0647	0,0104	11,5	12,8	II	13,5
84	7,5	1.259	101,36	14,12	11,6	14,3	0,0805	0,0112	11,9	14,9	II	13,5
85	7,5	1.074	69,23	10,53	10,7	12,6	0,0645	0,0098	11,2	14,5	II	13,5
86	7,5	1.259	89,63	13,44	11,2	13,1	0,0712	0,0107	11,7	14,0	II	13,5
87	7,5	2.222	109,11	17,59	9,6	11,9	0,0491	0,0079	10,0	13,5	II	13,5
88	9,0	1.300	153,24	21,82	14,1	13,9	0,1179	0,0168	14,6	15,0	II	13,5
89	8,5	1.900	77,02	12,67	8,8	11,7	0,0405	0,0067	9,2	13,0	II	13,5
90	5,0	2.700	97,38	17,09	8,7	11,2	0,0361	0,0063	9,0	11,5	II	13,5
91	3,5	4.100	84,44	17,44	7,2	9,4	0,0206	0,0043	7,4	10,0	II	13,5

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO.

continuação

Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	BASE DE DADOS							Classe sítio	IS (m)
					\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)			
92	6,50	3.300	111,50	19,70	8,5	11,1	0,0338	0,0060	8,7	12,5	II	13,5	
93	6,50	2.800	84,66	15,71	8,2	10,4	0,0302	0,0056	8,5	12,0	II	13,5	
95	4,50	3.000	95,93	18,48	8,5	10,1	0,0320	0,0062	8,9	11,0	II	13,5	
98	9,00	2.400	140,94	24,49	11,0	11,2	0,0587	0,0102	11,4	13,0	III	10,2	
99	7,00	2.600	75,22	14,67	8,1	9,8	0,0289	0,0056	8,5	12,0	II	13,5	
101	6,50	3.500	92,31	15,85	7,4	11,5	0,0264	0,0045	7,6	11,5	II	13,5	
102	6,50	2.300	106,51	18,19	9,7	11,2	0,0463	0,0079	10,0	13,5	II	13,5	
103	4,50	2.100	56,28	11,44	8,1	9,4	0,0268	0,0054	8,3	11,5	II	13,5	
105	4,50	2.800	76,78	18,67	8,8	8,0	0,0274	0,0067	9,2	6,0	III	10,2	
106	3,50	2.700	56,76	15,52	8,3	6,9	0,0210	0,0057	8,6	7,5	III	10,2	
107	7,00	2.800	102,60	17,05	8,6	11,9	0,0366	0,0061	8,8	13,5	II	13,5	
108	3,00	4.400	77,67	18,57	7,1	8,3	0,0177	0,0042	7,3	8,5	II	13,5	
111	5,00	4.500	58,82	15,37	6,5	7,5	0,0131	0,0034	6,6	9,0	III	10,2	
112	8,00	2.300	114,70	19,40	9,8	11,0	0,0499	0,0084	10,4	13,0	II	13,5	
113	6,00	2.700	119,64	17,67	8,8	13,2	0,0443	0,0065	9,1	15,5	I	16,8	
114	4,50	3.600	49,14	8,29	8,6	11,6	0,0369	0,0062	8,9	13,0	I	16,8	
115	7,00	1.800	117,56	19,47	11,1	11,8	0,0653	0,0108	11,7	12,0	II	13,5	
116	4,50	2.800	101,44	19,03	9,0	10,5	0,0362	0,0068	9,3	11,0	II	13,5	
117	5,50	2.700	88,19	16,94	8,7	10,3	0,0327	0,0063	8,9	10,5	II	13,5	
119	4,00	2.200	89,99	20,63	10,3	8,5	0,0409	0,0094	10,9	9,5	II	13,5	
125	3,90	5.077	68,81	12,580	5,30	9,7	0,0136	0,0025	5,6	12,7	I	16,8	
126	4,20	7.908	58,58	13,840	4,40	7,9	0,0074	0,0018	4,7	9,1	II	13,5	
127	4,20	12.984	54,13	14,810	3,60	6,8	0,0043	0,0012	3,8	8,3	III	10,2	
128	4,00	4.185	61,47	13,590	6,00	8,5	0,0147	0,0032	6,4	10,2	II	13,5	
129	4,10	7.292	74,43	16,130	4,90	8,4	0,0102	0,0022	5,3	10,4	II	13,5	
130	4,80	2.369	59,58	9,850	7,10	11,5	0,0251	0,0042	7,3	13,4	I	16,8	
131	5,40	4.677	59,70	12,130	5,50	9,5	0,0128	0,0026	5,7	10,6	II	13,5	
132	5,40	7.477	63,43	14,230	4,60	8,4	0,0085	0,0019	4,9	9,7	III	10,2	
133	5,00	2.769	57,81	11,900	7,10	9,4	0,0209	0,0043	7,4	9,9	III	10,2	
134	5,00	4.431	71,86	14,040	6,00	9,8	0,0162	0,0032	6,4	10,6	II	13,5	
135	6,30	3.692	69,59	13,600	6,60	9,9	0,0188	0,0037	6,8	11,2	II	13,5	
136	6,30	5.908	74,30	15,720	5,60	9,0	0,0126	0,0027	5,8	10,6	III	10,2	
137	6,20	2.031	61,22	11,750	8,20	10,0	0,0301	0,0058	8,6	11,1	II	13,5	
138	6,30	3.785	84,79	15,590	6,90	10,4	0,0224	0,0041	7,2	11,9	II	13,5	
139	7,60	2.246	65,90	11,810	7,90	10,5	0,0293	0,0053	8,2	12,6	II	13,5	
140	7,60	3.231	47,30	11,320	6,40	7,7	0,0146	0,0035	6,7	10,0	III	10,2	
141	7,50	1.908	65,46	11,630	8,50	10,6	0,0343	0,0061	8,8	13,0	II	13,5	
142	15,00	300	72,45	10,08	20,5	14,6	0,2415	0,0336	20,7	14,0	III	10,2	
143	15,00	375	29,84	5,13	12,2	10,6	0,0796	0,0137	13,2	12,6	III	10,2	
144	15,00	350	38,17	5,16	13,4	14,3	0,1090	0,0148	13,7	15,8	II	13,5	
145	15,00	75	18,88	2,76	20,2	12,7	0,2518	0,0368	21,6	12,7	III	10,2	
146	15,00	200	46,81	6,11	18,5	14,8	0,2340	0,0305	19,7	15,4	III	10,2	

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO.

continuação

BASE DE DADOS												
Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)	Classe sítio	IS (m)
148	8,0	1.033	60,91	10,85	11,3	10,9	0,0589	0,0105	11,6	13,5	II	13,5
149	6,0	2.467	66,07	12,49	7,8	10,4	0,0268	0,0051	8,0	12,2	II	13,5
151	6,0	2.067	84,01	12,57	8,5	13,0	0,0406	0,0061	8,8	14,0	II	13,5
152	6,0	1.733	78,20	11,88	9,0	12,7	0,0451	0,0069	9,3	14,8	I	16,8
153	13,0	400	78,50	9,16	16,4	17,1	0,1962	0,0229	17,1	18,0	II	13,5
154	13,0	600	69,73	8,41	13,2	16,4	0,1162	0,0140	13,4	17,3	II	13,5
155	13,0	267	61,56	6,28	17,1	20,0	0,2309	0,0235	17,3	19,0	II	13,5
156	15,0	250	45,37	6,66	17,9	13,3	0,1815	0,0266	18,4	14,1	III	10,2
157	12,0	400	38,32	5,38	12,8	13,9	0,0958	0,0134	13,1	15,7	II	13,5
158	10,0	1.033	108,30	14,67	13,1	14,3	0,1048	0,0142	13,4	15,5	II	13,5
159	10,0	933	47,78	8,85	10,6	10,2	0,0512	0,0095	11,0	11,7	III	10,2
161	10,0	1.300	90,68	11,59	10,3	15,1	0,0698	0,0089	10,7	16,7	II	13,5
162	10,0	1.133	73,44	10,26	10,4	13,8	0,0648	0,0091	10,7	16,7	II	13,5
163	10,0	1.733	86,09	13,87	9,8	12,3	0,0497	0,0080	10,1	13,3	III	10,2
164	10,0	2.100	84,04	13,53	8,8	12,1	0,0400	0,0064	9,1	14,2	II	13,5
165	10,0	1.233	49,35	8,47	9,1	11,4	0,0400	0,0069	9,4	12,7	III	10,2
166	10,0	833	95,64	11,92	13,1	15,7	0,1148	0,0143	13,5	17,2	II	13,5
167	9,0	833	73,09	10,14	11,7	13,4	0,0877	0,0122	12,4	15,7	II	13,5
168	10,0	1.033	111,03	15,44	13,2	13,5	0,1075	0,0149	13,8	15,3	II	13,5
169	13,0	667	97,50	10,65	13,3	17,0	0,1463	0,0160	14,3	19,3	I	16,8
171	9,0	1.067	114,73	14,53	12,8	15,4	0,1076	0,0136	13,2	17,3	I	16,8
172	9,0	700	138,58	14,16	15,8	19,5	0,1980	0,0202	16,1	21,3	I	16,8
173	9,0	867	101,37	11,56	12,6	17,1	0,1170	0,0133	13,0	19,2	I	16,8
174	9,0	1.633	97,34	12,73	9,6	14,7	0,0596	0,0078	10,0	18,5	I	16,8
175	9,0	1.967	75,62	12,78	8,9	11,6	0,0384	0,0065	9,1	13,0	III	10,2
176	9,0	1.433	78,01	11,59	9,7	12,7	0,0544	0,0081	10,1	15,5	II	13,5
177	9,0	1.267	69,94	10,05	9,7	13,7	0,0552	0,0079	10,0	14,7	II	13,5
178	8,0	1.533	75,75	11,79	9,7	12,6	0,0494	0,0077	9,9	15,0	II	13,5
179	9,0	1.233	79,11	10,34	10,0	14,5	0,0641	0,0084	10,3	17,8	I	16,8
181	8,0	1.800	72,47	11,80	9,0	12,2	0,0403	0,0066	9,1	13,8	II	13,5
182	8,0	1.500	101,39	13,47	10,3	14,1	0,0676	0,0090	10,7	17,8	I	16,8
183	7,0	1.100	77,85	13,06	11,7	11,8	0,0708	0,0119	12,3	12,3	II	13,5
184	7,0	1.700	69,12	11,92	9,0	11,1	0,0407	0,0070	9,4	12,5	II	13,5
185	8,0	2.067	110,09	16,47	9,7	12,9	0,0533	0,0080	10,1	15,0	II	13,5
186	8,0	1.200	56,58	10,36	9,9	11,1	0,0472	0,0086	10,5	10,3	III	10,2
187	10,0	467	50,89	8,47	14,7	11,8	0,1090	0,0181	15,2	12,7	III	10,2
188	10,0	367	42,37	6,15	13,7	13,9	0,1156	0,0168	14,6	14,2	II	13,5
189	13,0	500	92,08	10,30	15,3	16,9	0,1842	0,0206	16,2	19,0	II	13,5
191	7,0	900	61,97	9,51	11,0	12,6	0,0689	0,0106	11,6	13,5	II	13,5
192	7,0	1.033	104,07	16,03	13,8	12,9	0,1007	0,0155	14,1	13,7	II	13,5
193	8,0	2.067	48,58	9,54	7,5	10,1	0,0235	0,0046	7,7	10,7	III	10,2
194	8,0	1.967	78,04	14,27	9,2	10,9	0,0397	0,0073	9,6	10,7	III	10,2

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

BASE DE DADOS UTILIZADA NA REGRESSÃO.

conclusão

BASE DE DADOS												Classe sítio	IS (m)
Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)			
195	7,0	1.467	52,24	10,14	9,1	10,0	0,0356	0,0069	9,4	12,3	II	13,5	
196	7,0	1.433	25,53	5,88	7,0	8,8	0,0178	0,0041	7,2	8,8	III	10,2	
197	9,0	633	31,02	6,10	10,6	9,8	0,0490	0,0096	11,1	10,7	III	10,2	
198	15,0	167	34,80	3,87	16,9	18,3	0,2088	0,0232	17,2	18,3	II	13,5	
199	14,0	1.433	89,18	14,04	10,9	12,4	0,0622	0,0098	11,2	14,0	III	10,2	
201	14,0	967	78,39	12,00	12,3	13,1	0,0811	0,0124	12,6	13,0	III	10,2	
202	14,0	600	47,58	7,72	12,3	11,8	0,0793	0,0129	12,8	13,3	III	10,2	
203	14,0	900	66,71	9,91	11,7	13,6	0,0741	0,0110	11,8	14,7	III	10,2	
204	14,0	400	64,22	8,59	16,1	15,3	0,1605	0,0215	16,5	16,0	II	13,5	
205	14,0	433	72,77	9,87	15,9	13,8	0,1679	0,0228	17,0	17,7	II	13,5	
206	14,0	67	14,21	2,06	19,6	14,0	0,2132	0,0308	19,8	14,0	III	10,2	
207	14,0	267	41,70	6,93	17,3	10,7	0,1564	0,0260	18,2	13,0	III	10,2	
208	14,0	267	41,27	7,51	18,0	11,5	0,1548	0,0281	18,9	11,3	III	10,2	
209	14,0	500	49,73	6,77	12,8	14,2	0,0995	0,0135	13,1	16,2	II	13,5	
211	11,0	1.000	61,29	8,73	10,0	13,1	0,0613	0,0087	10,5	16,0	II	13,5	
212	11,0	1.200	55,26	7,98	8,8	13,3	0,0461	0,0066	9,2	15,3	II	13,5	
213	14,0	567	68,51	9,36	14,2	14,8	0,1209	0,0165	14,5	15,0	III	10,2	
214	14,0	467	40,49	5,70	12,2	14,2	0,0868	0,0122	12,5	14,7	III	10,2	
215	14,0	400	25,75	3,58	10,5	13,8	0,0644	0,0090	10,7	16,0	II	13,5	
216	14,0	75	17,25	2,06	18,5	16,7	0,2300	0,0275	18,7	16,7	II	13,5	
217	11,0	267	10,79	2,04	9,6	9,9	0,0405	0,0076	9,9	11,8	III	10,2	
218	11,0	400	34,82	6,78	14,4	10,3	0,0871	0,0169	14,7	10,2	III	10,2	
219	8,0	1.800	68,33	11,54	8,7	11,3	0,0380	0,0064	9,0	13,5	II	13,5	
221	8,0	1.633	79,11	12,79	9,6	12,0	0,0484	0,0078	10,0	12,5	III	10,2	
222	8,0	1.667	63,70	11,02	8,9	11,5	0,0382	0,0066	9,2	12,0	III	10,2	
223	11,0	200	27,97	3,62	14,5	15,5	0,1399	0,0181	15,2	16,4	II	13,5	
224	13,0	867	54,80	9,25	11,1	11,4	0,0632	0,0107	11,7	13,0	III	10,2	
225	13,0	733	50,83	8,63	11,8	11,3	0,0693	0,0118	12,2	11,2	III	10,2	
226	8,0	1.200	73,47	12,03	10,8	11,9	0,0612	0,0100	11,3	14,0	II	13,5	
227	8,0	1.600	70,73	10,45	8,6	12,1	0,0442	0,0065	9,1	16,0	II	13,5	
228	8,0	2.767	91,49	15,14	8,0	11,4	0,0331	0,0055	8,3	15,5	II	13,5	
229	8,0	3.067	122,86	18,03	8,2	12,5	0,0401	0,0059	8,7	14,8	II	13,5	
231	7,0	2.833	55,88	11,27	7,0	9,8	0,0197	0,0040	7,1	12,0	II	13,5	
232	7,0	2.767	61,55	12,37	7,4	10,0	0,0222	0,0045	7,5	11,5	III	10,2	
233	10,0	1.000	105,21	13,98	13,0	14,8	0,1052	0,0140	13,3	16,3	II	13,5	
234	10,0	1.300	122,70	15,15	11,6	15,1	0,0944	0,0117	12,2	17,7	I	16,8	
235	10,0	1.333	85,64	11,66	10,1	13,9	0,0642	0,0087	10,6	15,3	II	13,5	
236	10,0	867	78,74	10,22	11,9	14,8	0,0909	0,0118	12,3	18,0	I	16,8	
237	9,0	2.367	93,08	14,87	8,7	12,3	0,0393	0,0063	8,9	13,8	II	13,5	
238	9,0	2.233	90,03	14,16	8,7	12,3	0,0403	0,0063	9,0	14,0	II	13,5	
239	11,0	367	29,25	4,16	11,7	13,4	0,0798	0,0114	12,0	14,3	II	13,5	
241	11,0	567	71,64	9,20	13,8	14,9	0,1264	0,0162	14,4	17,3	II	13,5	

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

ANEXO VI - BASE DE DADOS UTILIZADA NA VALIDAÇÃO

PARCELAS EXCLUÍDAS												
Parcela	Idade (anos)	N (árvores/ha)	V (m ³ /ha)	G (m ² /ha)	\bar{d} (cm)	\bar{h} (m)	\bar{v} (m ³ /árvore)	g (m ² /árvore)	d _g (cm)	h _{dom} (m)	Classe sítio	IS (m)
59	9,0	2.370	110,80	16,73	9,2	17,83	0,0467	0,0071	9,5	15,1	II	13,5
94	9,0	2.000	224,83	29,30	12,9	14,55	0,1124	0,0146	13,7	16,5	II	13,5
96	4,5	5.800	144,20	34,74	8,3	7,85	0,0249	0,0060	8,7	9,5	III	10,2
97	5,5	2.400	174,02	27,13	11,1	11,58	0,0725	0,0113	12,0	15,5	I	16,8
104	6,5	2.200	155,09	24,22	11,1	12,36	0,0705	0,0110	11,8	13,0	II	13,5
109	5,0	4.500	195,73	33,12	9,2	11,19	0,0435	0,0074	9,7	13,5	I	16,8
110	5,0	4.200	238,92	38,96	10,3	11,37	0,0569	0,0093	10,9	14,5	I	16,8
118	3,5	3.100	166,53	29,09	10,6	10,97	0,0537	0,0094	10,9	13,5	II	13,5
121	6,5	5.200	136,13	29,80	8,2	8,87	0,0262	0,0057	8,5	9,5	III	10,2
122	13,5	2.700	353,10	56,01	15,6	12,33	0,1308	0,0207	16,3	13,5	III	10,2
123	8,5	3.000	234,28	43,62	13,1	10,43	0,0781	0,0145	13,6	12,0	III	10,2
124	8,0	2.400	243,54	39,88	13,8	11,65	0,1015	0,0166	14,5	14,0	II	13,5

I = Idade (anos); N = número de árvores por hectare; V = volume total com casca por hectare (m³/ha); G = área basal por hectare (m²/ha); \bar{d} = diâmetro à altura do peito médio (cm); \bar{h} = altura total média (m); \bar{v} = volume com casca da árvore média (m³/árvore); g = área transversal (m²/árvore); d_g = diâmetro médio quadrático (cm); h_{dom} = altura dominante (m); IS = índice de sítio (m).

