



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**EQUAÇÃO DE VOLUME PARA A VEGETAÇÃO ARBÓREA REMANESCENTE NA**  
**ÁREA DO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO,**  
**COMPERJ**

**LUIZ IRENO DE ASSUMPCÃO FILHO**

**SEROPÉDICA, RJ**

**FEVEREIRO DE 2008**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**DEPARTAMENTO DE SILVICULTURA**

**Luiz Ireno de Assumpção filho**

Monografia apresentada ao Departamento de silvicultura da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de engenheiro florestal.

**Orientador: Hugo Barbosa Amorim**

SEROPÉDICA, RJ

FEVEREIRO DE 2008

**EQUAÇÃO DE VOLUME PARA A VEGETAÇÃO ARBÓREA REMANESCENTE  
NA ÁREA DO COMPLEXO PETROQUÍMICO DO RIO DE JANEIRO,  
COMPERJ**

**Luiz Ireno de Assumpção filho**

Seropédica, 11 de fevereiro de 2008.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. HUGO BARBOSA AMORIM (orientador)

---

TOKITIKA MOROKAWA - Membro Titular

---

JOSÉ DE ARIMATÉA SILVA – Membro Titular

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço – ti, ó Deus por iluminar os caminhos meus e fazer de minha estadia neste plano material uma grande palco da sua graça.

Agradeço – ti, ó Pai meu, por ti tê-lo sempre presente em meus atos e pensamentos.

Agradeço – ti, ó minha Mãe soberana, que entre outras tantas devo louvá-las por me acompanharem nesta jornada.

Agradeço-ti, ó minhas avós, senhoras que são mães dos meus pais e que me deram oportunidade de sentir a presença do amor incondicional.

Agradeço a corte da minha família por dar-me o suporte indispensável, sem o qual a vida seria nada, em especial as minhas tias Augusta, Tânia, Sueli e Simone.

Aos meus mestres ensinadores, senhores de grandes poderes de transformações cósmicas, agradeço.

E desejo por fim, que ecoe a força da palavra, agradecido, a todos meus importantes amigos.

Assim confesso.

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo determinar uma equação de volume para ser aplicada às árvores que compõem a vegetação remanescente da área onde irá se instalar o Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro, COMPERJ, situado no Município de Itaboraí, RJ, obedecendo ao disposto no Termo de Referência emitido pelo Instituto Estadual de Florestas do Rio de Janeiro. Tomando como base os dados do inventário florestal realizado, onde foram mensuradas 100 unidades amostrais com as dimensões de 10 x 50 m e diâmetro mínimo de 5 cm foram selecionados 202 fustes pertencentes a árvores de 18 famílias e 22 espécies diferentes, cubadas rigorosamente em pé, para obtenção da base de dados a ser utilizada no processamento. Dentre os inúmeros modelos existentes para estimar o volume das árvores foram selecionados 4 dos mais frequentes em trabalhos similares: Kopecky-Gehrhardt, Spurr (Variável combinada), Husch e Schumacher & Hall. Os critérios utilizados para seleção do melhor modelo contemplaram os seguintes itens: relação linear entre as variáveis envolvidas nos modelos, avaliada pelo coeficiente de correlação; significância dos coeficientes, no nível de 95%; coeficiente de determinação corrigido; erro padrão; índice de Furnival; existência de dados discrepantes e distribuição dos resíduos. Os modelos de Husch e Schumacher & Hall apresentaram os melhores resultados, sendo escolhido o modelo de Husch que, mesmo apresentando o segundo melhor desempenho quanto às estatísticas básicas mostrou os melhores resultados à distribuição dos resíduos e tem a vantagem de necessitar apenas da variável diâmetro para sua aplicação, evitando as tendências advindas de erros de mensuração da altura no campo.

Palavras-chave: Equação de volume, cubagem rigorosa, floresta nativa.

## ABSTRACT

This research aimed to determine volume equation of remaining forest of the Petrochemical Complex (COMPERJ), in Itaboraí, State of the Rio de Janeiro. In the forest inventory were measured 100 sampling units (10m x 50 m, each), tree with DBH  $\geq$  5cm, and selected 202 trees mensured (stump and crown) involving 18 families and 22 species. The following linear regression models was tested: Kopecky-Gehrhardt, Spurr, Husch and Schumacher & Hall. For selection of the best model was based on: coefficient of correlation; significance of the coefficients ( $p=0,05$ ); coefficient of determination adjusted; standard error; Furnival's index; analyses of errors. Statistically the Schumacher & Hall's model presented the best results, but the second best Husch's model were selected based on analysis of errors and single equation based on DBH measure only.

Key-words: Equation of volume, cubic measurement, native forest.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	iv
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	3
3.1. Localização e Características da Área de Estudo.....	3
3.2. Inventário Florestal .....	5
3.3. Seleção das árvores para compor a amostra .....	6
3.4. Coleta dos dados no campo .....	6
3.5. Cálculo do volume individual das árvores.....	7
3.6. Modelos Selecionados.....	7
3.7. Critérios para a seleção do melhor modelo.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	8
4.1. Árvores Selecionadas Para Compor a Amostra .....	8
4.2. Relações dendrométricas nas árvores da amostra .....	10
4.3. Relações Dendrométricas Entre As Variáveis dos Modelos Selecionados.....	13
4.3.1. Modelo 1.....	13
4.3.2 Modelo 2 .....	14
4.3.3 Modelo 3.....	15
4.3.4 Modelo 4.....	16
4.4. Estatísticas Relevantes dos Modelos.....	17
4.5. Escolha do Melhor Modelo .....	19
4.5.1 Linearidade das relações entre as variáveis dos modelos .....	19

4.5.2	Avaliação dos dados discrepantes.....	19
4.5.3	Avaliação dos coeficientes dos modelos .....	20
4.5.4	Avaliação dos coeficientes de determinação, erros padrões e índices de Furnival dos modelos.....	21
4.5.5	Distribuição dos resíduos.....	21
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	27
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	28

## LISTA DE FIGURAS

1	Localização do município de Itaboraí – RJ .....	3
2	Mapa esquemático de solos da área do COMPERJ .....	3
3	Frequência das classes diamétricas.....	5
4	Frequência das classes de altura .....	6
5	Frequência de fustes por família .....	10
6	Distribuição dos diâmetros em classes .....	11
7	Distribuição das alturas em classes .....	11
8	Relação entre o Dap e a altura total das árvores da amostra .....	12
9	Relação entre o Dap e o volume total das árvores da amostra .....	12
10	Relação entre a altura total e o volume .....	13
11	Relação linear entre as variáveis do modelo 1 .....	14
12	Relação linear entre as variáveis do modelo 2 .....	15
13	Relação linear entre as variáveis do modelo 3 .....	16
14	Relação linear entre as variáveis $X_2$ e Y do modelo 4 .....	17
15	Distribuição dos resíduos do modelo 1 .....	22
16	Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 1 .....	22
17	Distribuição dos resíduos do modelo 2 .....	23
18	Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 2 .....	23
19	Distribuição dos resíduos do modelo 3 .....	24
20	Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 3 .....	24
21	Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável $X_1$ .....	25
22	Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável $X_2$ .....	25
23	Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável $X_1$ .....	26
24	Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável $X_2$ .....	26

## LISTA DE TABELAS

<b>1</b>	Modelos testados .....	2
<b>2</b>	Modelos selecionados na forma linearizada e seus correspondentes modelos genéricos .....	7
<b>3</b>	Frequência e distribuição das árvores e espécies utilizadas para a construção da equação volumétrica .....	9
<b>4</b>	Distribuição dos fustes da amostra em classes de diâmetro e altura .....	10
<b>5</b>	Estatísticas relevante do modelo 1.....	17
<b>6</b>	Estatísticas relevantes do modelo 2 .....	18
<b>7</b>	Estatísticas relevantes do modelo 3 .....	18
<b>8</b>	Estatísticas relevantes do modelo 4 .....	19
<b>9</b>	Análise dos resíduos padronizados dos modelos .....	20
<b>10</b>	Resumo de algumas estatísticas relevantes dos modelos .....	21

## 1. INTRODUÇÃO

Qualquer atividade industrial que gere impacto ao ambiente necessita obter dos órgãos ambientais municipais, estaduais e federais autorização para sua implantação; processo conhecido como licenciamento ambiental.

No estado do Rio de Janeiro, as atividades relacionadas à indústria de petróleo e gás natural têm aumentado significativamente suas atividades, notadamente aquelas ligadas à implantação de dutos terrestres para transporte desses produtos.

Nesse tipo de licenciamento, a supressão da vegetação existente é uma das atividades que requer, por força da legislação vigente, oriunda do órgão ambiental competente, um detalhamento no que se refere à coleta e análise das informações referentes a mesma.

A estimativa do volume total das árvores que irão ser suprimidas é uma das informações exigidas, cujo atendimento requer a determinação de uma equação de volume, motivo da presente monografia.

A alometria de árvores, ou mais especificamente, suas relações entre tamanho e forma, apresentam um relevante efeito estrutural e funcional na floresta. O tamanho, formato e posição da copa de uma árvore relaciona-se com a quantidade de luz interceptada, enquanto as dimensões do tronco correspondem a sua resistência mecânica frente as forças como o vento e a massa da própria copa (king, 1996 citado por FONTES, 1999 ).

Por possuírem uma geometria particular, as árvores têm em sua base uma forma neilóidica, passando a se assemelhar a um parabolóide na sua porção mediana, assumindo forma de cone na sua porção superior. Esta particularidade geométrica constitui-se num fator negativo por ocasião do ajuste de modelos, que representem o perfil da árvore (husch, miller & beers ,1982) citados por (SCOLFORO, 1998).

Segundo CAMPOS & LEITE (2000), identificada a forma do tronco, não é difícil calcular seu volume. No entanto, não é simples identificar com precisão a forma geométrica de um tronco, pois diversas delas podem ocorrer ao longo deste, dificultando o cálculo do volume. Uma alternativa para cálculo deste é o emprego do fator de forma (f), definido pela razão entre o volume total (ou comercial) do fuste (Vfuste) e o volume de um cilindro de altura igual da árvore (H) e com diâmetro igual ao DAP (Vcilin.), isto é.

$$f = \text{Vfuste} / \text{V cilin.}$$

O motivo de se considerar a altura do cilindro igual à altura da árvore é a garantia da consistência de resultados, uma vez que essa altura é facilmente mensurável com a árvore em pé.

Dependendo de o volume considerado no cálculo ser total ou comercial, é feita uma distinção entre os fatores de forma para volume total e comercial (CAMPOS & LEITE, 2002). Como o fator de forma é proporção entre volumes, constata-se que troncos com um mesmo fator de forma não tem, necessariamente, uma mesma forma, ou ainda, troncos que possuem a mesma forma não tem, necessariamente, fatores de forma iguais (CAMPOS & LEITE, 2002). Para obtenção de estimativas de volume, são também muito utilizadas equações de volume, comercial ou total, que tem geralmente a seguinte forma funcional :

$$y = f (d ,h)$$

onde:

y = volume (v) individual de cada árvore

d = Dap , e h é a altura (COUTO & VETTORAZZO, 1991)

Segundo SOUSA e JESUS (1991) a obtenção de uma equação de volume envolve três etapas distintas: amostragem, cubagem rigorosa e seleção de modelos volumétricos.

Nos inventários florestais os modelos que têm sido mais utilizados para estimar os volumes dos componentes das árvores, para diferentes condições edafo-climáticas e espécies florestais são o logarítmico de Shumacher e Hall, e a variável combinada de Spurr, principalmente precisão e facilidade de utilização (FERREIRA, MELO e KAJIRA, 1977; PAULA NETO et al., 1983; CAMPOS, TREVIZOL JUNIOR e PAULA NETO, 1985; SILVA et al., 1994; citados por COUTO e VETTORAZZO, 1999).

Os modelos de equações de volume são tradicionalmente aplicados às árvores monopodiais, onde a maior parte do volume de madeira é constituída pelo tronco da árvore (AVERY e BUCKHARTH, 1993 citado por BATISTA *et al.*, 2004). Algumas exceções são a sua aplicação em florestas tropicais nativas (FERNANDES et al., 1983; SOUSA e JESUS, 1991), no cerrado (PINHEIRO et al., 1990; BATISTA et al., 2004), e para espécies do semi-árido nordestino (ZAKIA et al., 1990; BATISTA et al., 2004).

A maioria dos modelos utilizados para trabalhar com essa questão podem ser vistos na relação testada por ROLIM et al, 2006 (Quadro 1), citando, inclusive, uma relação de autores que os utilizaram: (Jorge, 1982; Fernandes et al., 1983; Silva & Carvalho, 1984; Queiroz, 1984; Higuchi & Ramm, 1985; Couto & Bastos, 1987; Souza & Jesus, 1991; Scolforo et al., 1994; Belchior, 1996; Baima et al., 2001; Chichorro et al., 2003; Schneider & Tonini, 2003; Batista et al., 2004), onde  $d$  é o diâmetro em metros medido na altura do peito (medido a 1,30 m),  $h$  é a altura comercial do fuste em metros e a variável dependente é o volume  $V$  em metros cúbicos com casca.

Quadro 1. Modelos testados por ROLIM et al, 2006.

Ordem	Modelo	Autor
1	$V = b_0 + b_1.D^2 + \varepsilon$	Kopezky-Gehrhardt
2	$V = b_0 + b_1.D + b_2.D^2 + \varepsilon$	Hohenadl & Krenn
3	$LN(V) = b_0 + b_1. LN(D) + \varepsilon$	Husch
4	$LN(V) = b_0 + b_1. LN(D) + b_2. D^{-1} + \varepsilon$	Brenac
5	$V = b_0 + b_1.D^2 h + \varepsilon$	Spurr
6	$V = b_0 + b_1.D^2 + b_2.D^2 h + b_3 h + \varepsilon$	Stoate
7	$V = b_0 + b_1.D^2 + b_2.D^2 h + b_3 dh^2 + b_4h^2 + \varepsilon$	Näslund
8	$V = b_0 + b_1.D^2 + b_2.D^2 h + b_3 dh^2 + b_4h^2 + b_5h + \varepsilon$	Meyer
9	$V = b_0 + b_1.D^2 + b_2.D^2 h + b_3 dh^2 + b_4h^2 + \varepsilon$	Meyer Modificada
10	$LN(V) = b_0 + b_1. LN(D^2h) + \varepsilon$	Logarítmico de Spurr
11	$LN(V) = b_0 + b_1. LN(D) + b_2. LN(h) + \varepsilon$	Log .de Schumacher & Hall
12	$LN(V) = b_0 + b_1. LN(D) + b_2 LN^2(D) + b_3 LN(h) + b_4 LN^2(h) + \varepsilon$	Logarítmico de Prodam

## **2. OBJETIVO**

O presente estudo teve como objetivo selecionar um modelo para estimar o volume total das árvores localizadas nos fragmentos florestais remanescentes da área onde será implantado o Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro, COMPERJ, município de Itaboraí, RJ.

## **3. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1. Localização e Características da Área de Estudo**

A área de estudo localiza-se no município de Itaboraí, no estado do Rio de Janeiro, situado sobre as regiões de Planícies Costeiras, de Tabuleiros Costeiros e de Colinas e Maciços Costeiros, onde será instalado o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro – COMPERJ – em uma área com 4.529,8 ha (Decreto de desapropriação), conforme mostra a Figura 1.

A região tem o clima classificado como Clima Tropical Quente (temperatura média superior a 18°C) e Sub-Quentes (entre 18°C e 15°C), além de apresentar subtipos Super Úmido (sem mês seco) e úmido (um a três meses secos).

As drenagens da área do COMPERJ operam de forma conjugada com as duas bacias, a bacia do rio Caceribu e a bacia do rio Macacu, que apresentam uma total influência em todos os seus processos e magnitudes, uma vez que a relação de área e vazão específicas são contrastantes entre a bacia de captação e a área do COMPERJ. Porém na área do COMPERJ apenas existe as zonas de afloramento, com enorme ascendência das características típicas de planícies de inundação, atuando diretamente em todas regiões e de forma indireta nas áreas com relevo um pouco mais alta.

A vegetação do município apresenta remanescentes de Floresta Ombrófila densa, bem como uma grande área de manguezal, sendo que esta última faz parte da APA de Guapimirim, com 14.340 hectares, abarcando os municípios de Guapimirim, Itaboraí, Magé e São Gonçalo.



Figura 1 – Localização do município de Itaboraí – RJ

As descontinuidades geológicas e geomorfológicas presentes na região de estudo, se refletem na diferenciação dos solos na paisagem, onde o material de origem, aspectos geomorfológicos induziram a formação das seguintes classes de solo representado na figura 2.

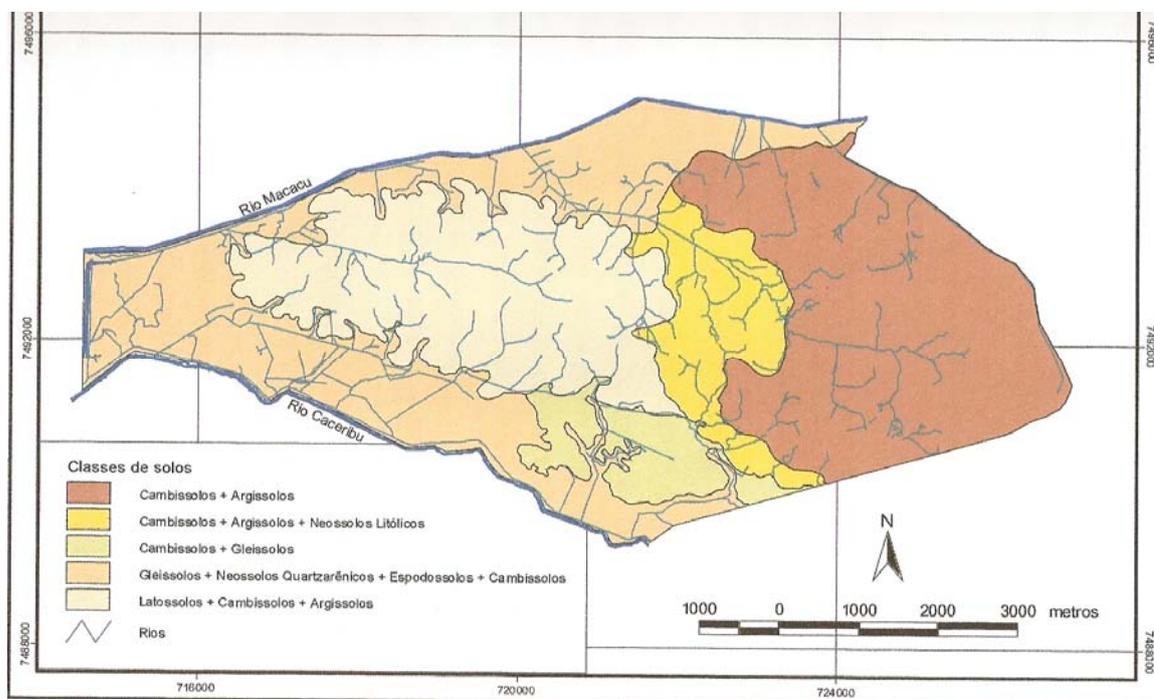


Figura 2 . Mapa esquemático de solos da área do COMPERJ.

### 3.2. Inventário Florestal

Como parte do processo de licenciamento ambiental, na fase da Licença de Instalação, foi realizado um inventário florestal na área do COMPERJ, com a finalidade de prover informações destinadas a orientar o processo de supressão da vegetação. Nesse inventário foram mensuradas as árvores de 100 unidades amostrais (dimensões de 10 x 50m), a partir do diâmetro mínimo de 5 cm.

Como resultados o inventário apresentou:

- Mensuração de 7.606 fustes, dos quais 412 (5,4%) não foram identificados aparecendo nas tabelas como indeterminados. Os demais 7.194 fustes dividem-se em 158 espécies diferentes, sendo que 34 espécies (21,4%) foram identificadas até o nível de gênero.
- Distribuição dos diâmetros apresentando o comportamento esperado, na forma de “J” invertido, destacando-se o fato de que 58,2% dos fustes encontram-se na classe de diâmetro de 5 a 10 cm, conforme mostra a Figura 3;
- Distribuição das alturas apresentando também um comportamento esperado (distribuição normal com assimetria à direita), sendo que a maior parte das alturas (32,6%) situam-se na classe de 5 a 7 m, conforme mostra a Figura 4.

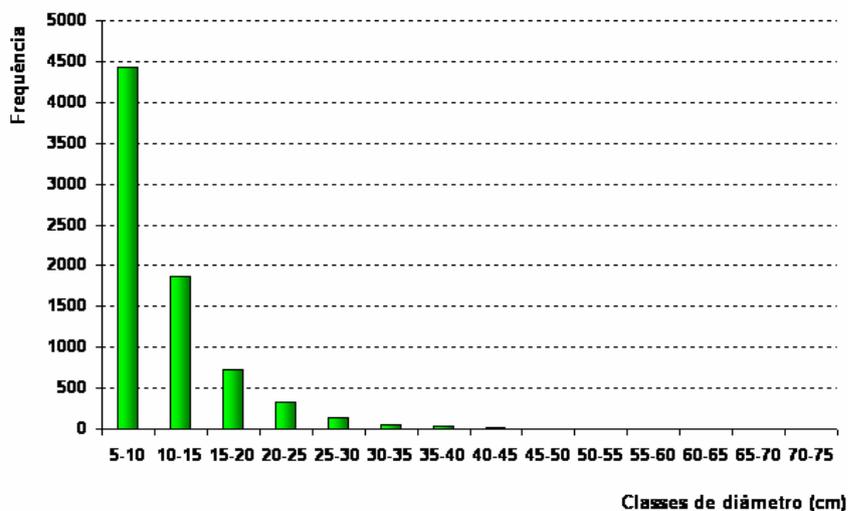


Figura 3. Frequência das classes diamétricas

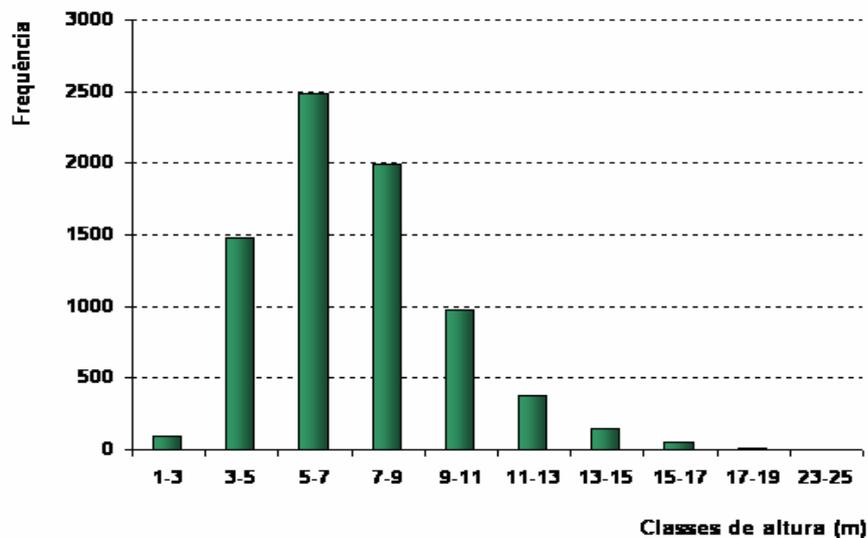


Figura 4 . Frequência das classes de altura

### 3.3. Seleção das árvores para compor a amostra

A partir dos resultados do inventário, foram selecionados 202 fustes, pertencentes a 22 espécies diferentes e distribuídas em classes de diâmetros. Adotou-se como critério selecionar as espécies que tivessem apresentado frequência relativa acima de 1% no inventário florestal .

### 3.4. Coleta dos dados no campo

Para obtenção do volume total das árvores (fuste + galhos) foi necessário coletar dados individuais de um conjunto de árvores com a finalidade de se determinar uma equação de volume. Para tal, in loco, foram coletados os dados, através da cubagem rigorosa das árvores em pé (método não-destrutivo), distribuídas por diferentes espécies e classes de diâmetro. Nas alturas de 0,20m, 0,50m e 1,30m, foi medida a circunferência com fita métrica, assim como nas demais alturas, de metro em metro, partindo-se de 1,30m até a altura comercial, convencionada em 8 cm de diâmetro. Nos galhos, esse procedimento foi replicado e, a partir desse limite, o restante do fuste ou dos galhos foi considerado como ponta. A figura 3 mostra um esquema básico desse procedimento.

### 3.5. Cálculo do volume individual das árvores

O volume individual das árvores foi calculado com o emprego da fórmula de Smalian, para o fuste, do cilindro para o toco e do cone para a ponta.

### 3.6. Modelos Selecionados

Para determinação da equação de volume foram selecionadas 4 modelos, cujos componentes estão intrinsecamente ligados ao volume dos fustes ou seja, o diâmetro elevado a uma potência e a altura, na forma simples ou também elevada a uma potência. Os modelos selecionados são apresentados a seguir e costumam estar presentes em trabalhos similares.

1.  $V = b_0 + b_1.D^2$  - Kopezky-Gehrhardt
2.  $V = b_0 + b_1.D^2H$  - Spurr (Variável combinada)
3.  $V = b_0.D^{b1}$  - Husch
4.  $V = b_0.D^{b1}.H^{b2}$  - Schumacher & Hall

Onde:  $V$  = volume total da árvore (fuste + galhos), em  $m^3$ ;

$D$  = diâmetro à altura do peito, em cm;

$H$  = altura total da árvore, em m.

Os dois primeiros modelos apresentam forma linear e os dois últimos forma exponencial, necessitando serem linearizados para permitir a obtenção de seus coeficientes através dos procedimentos da regressão linear.

**Quadro 2. Modelos selecionados na forma linearizada e seus correspondentes modelos genéricos.**

Modelo	Forma linear	Modelos genéricos
1	$V = b_0 + b_1.D^2$	$Y = b_0 + b_1.X + \xi$
2	$V = b_0 + b_1.D^2H$	$Y = b_0 + b_1.X + \xi$
3	$LN(V) = b_0 + b_1.LN(D)$	$Y = b_0 + b_1.X + \xi$
4	$LN(V) = b_0 + b_1.LN(D) + b_2.LN(H)$	$Y = b_0 + b_1.X_1 + b_2.X_2 + \xi$

### **3.7. Critérios para a seleção do melhor modelo**

A determinação do melhor modelo contemplou os seguintes itens:

- a) Relação linear entre as variáveis envolvidas nos modelos, avaliada pelo coeficiente de correlação;
- b) Significância dos coeficientes, no nível de 95%;
- c) Coeficiente de determinação corrigido;
- d) Erro padrão;
- e) Índice de Furnival;
- f) Existência de dados discrepantes;
- g) Distribuição dos resíduos.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Árvores Seleccionadas Para Compor a Amostra**

O Quadro 3 mostra as árvores seleccionadas que compuseram a amostra, que distribuem-se por 18 famílias e 22 espécies diferentes, e a Figura 5 permite visualizar a frequência por família. Essas espécies representam 59% de todos os fustes mensurados.

Quadro 3 – Frequência e distribuição das árvores e espécies utilizadas para a construção da equação volumétrica

NOME POPULAR	FREQ.	TAXON	FAMÍLIA
balizia	24	<i>Balizia pedicellaris</i> (DC.) Barneby & J.W. Grimes	Mimosaceae
cambará	27	<i>Gochnatia polymorpha</i> (Less.) Cabr	Asteraceae
camboatá	8	<i>Cupania ludowigii</i> Somner & Ferrucci	Sapindaceae
camboatá-de-serra	8	<i>Cupania furfuraceae</i> Radlk	Sapindaceae
pajeú	2	<i>Coccoloba</i> sp	Polygonaceae
garapa	11	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	Caesalpinaceae
gema-de-ovo	4	<i>Sloanea monosperma</i> Vell.	Elaeocarpaceae
guamirim	9	<i>Eugenia cerasiflora</i> Miq.	Myrtaceae
ipê	1	<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Standl	Bignoniaceae
jacatirão	10	<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naud.	Melastomataceae
lacistema	2	<i>Lacistema</i> sp	Lacistemaceae
sapucaia	2	<i>Lecythis pisonis</i> Camb.	Lecythidaceae
rapadura	2	<i>Licania octandra</i> (Hoffm. ex. Roem. & Schult.) Kuntze	Chrysobalanaceae
louro	1	<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Boraginaceae
nectandra	20	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	Lauraceae
negamina	5	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl	Monimiaceae
pau-jacaré	14	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) Macbr.	Mimosaceae
pau-pombo	22	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae
pau-sangue	10	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	Fabaceae
prateada	4	<i>Eugenia Villa-novae</i> Kiaersk	Myrtaceae
breu	2	<i>Protium icicariba</i> March.	Burseraceae
angico-rajado	14	<i>Pseudopiptadenia contorta</i> (DC.) G.P.	Mimosaceae
	202		

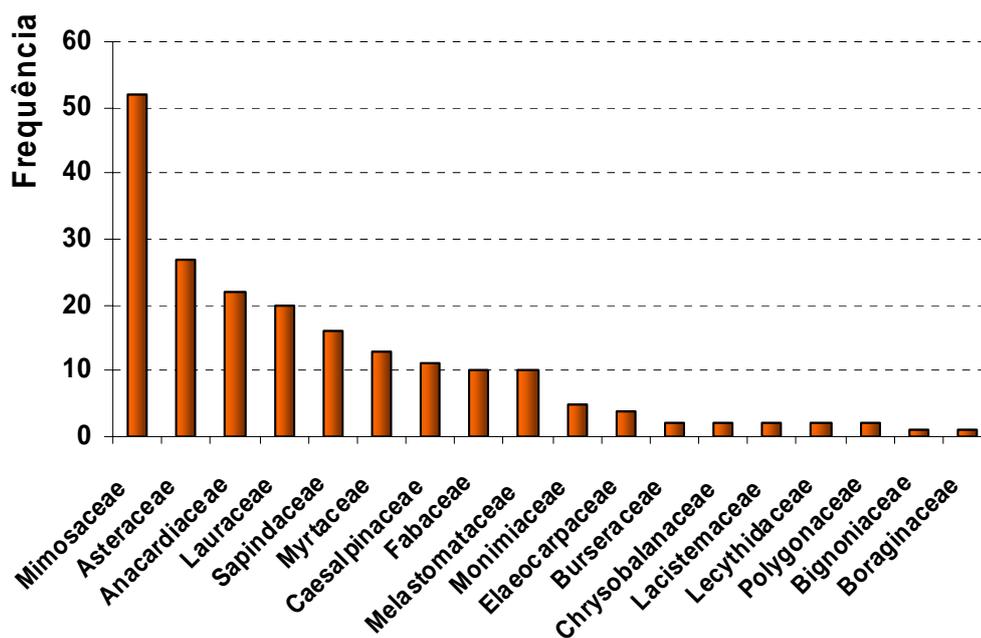


Figura 5. Frequência de fustes por família

A família Mimosaceae destaca-se, com 52 fustes, o que corresponde a 25,7% do total das árvores selecionadas para compor a amostra.

#### 4.2. Relações dendrométricas nas árvores da amostra

O Quadro 4 mostra a distribuição das árvores da amostra em classes de diâmetro e altura. A Figura 6 permite visualizar a distribuição dos diâmetros e a Figura 7 a distribuição das alturas. Quanto aos diâmetros, percebe-se a tentativa de coletar o mesmo número de árvores por classe de diâmetro, buscando com isso representar igualmente a variabilidade de cada classe. A distribuição da frequência das alturas ficou dependente da distribuição dos diâmetros. Por essa razão que a imagem da distribuição mostra 4 classes com frequências bastante similares.

Quadro 4. Distribuição dos fustes da amostra em classes de diâmetro e altura

Classes de Diam. (cm)	Classes de altura (m)								Total geral
	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	
5-10	4	8	15	10	5	2			44
10-15	1	4	6	9	11	7			38
15-20	2	3	9	10	7	7			38
20-25			6	6	6	6	4		28
25-30			4	6	10	8	3	3	34
30-35			1	3	2	9	5		20
Total geral	7	15	41	44	41	39	12	3	202

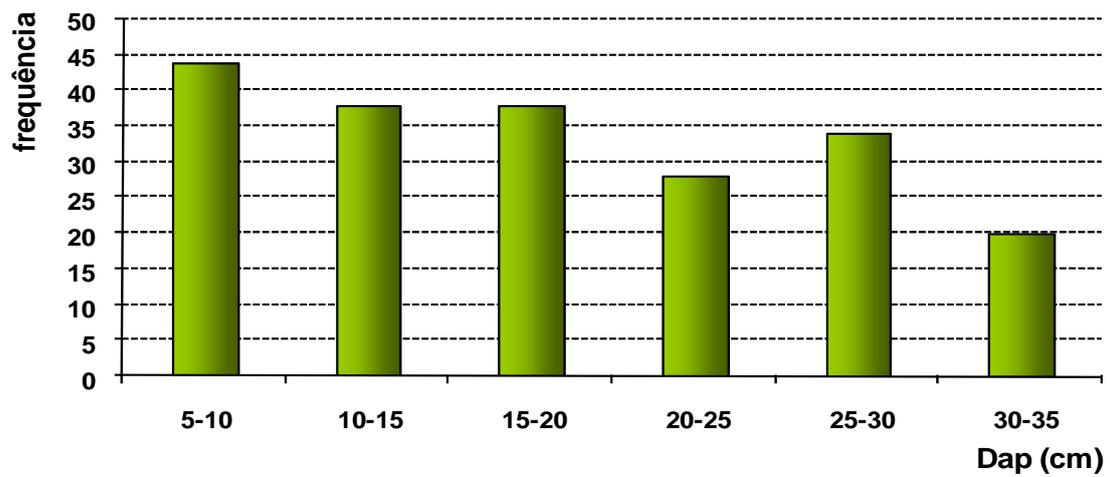


Figura 6. Distribuição dos diâmetros em classes.

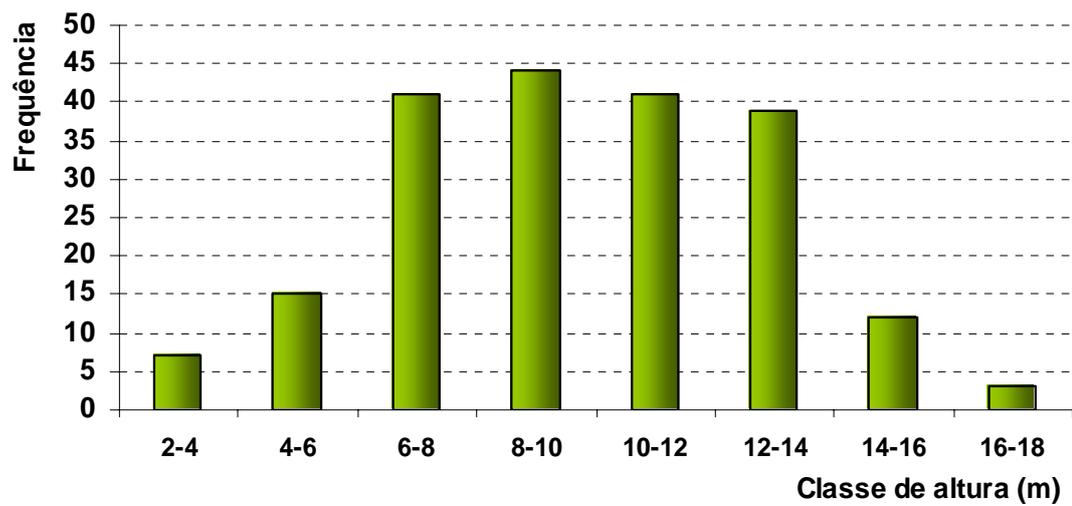


Figura 7. Distribuição das alturas em classes.

A Figura 8 mostra a relação entre os diâmetros e as alturas das árvores selecionadas para a equação volumétrica. A dispersão das alturas em torno dos diâmetros mostrada por essa figura corresponde ao que se pode esperar de uma floresta nativa com as características da inventariada, ocasionada pela diferença de espécies e de estádios sucessionais onde foram alocadas as unidades amostrais.

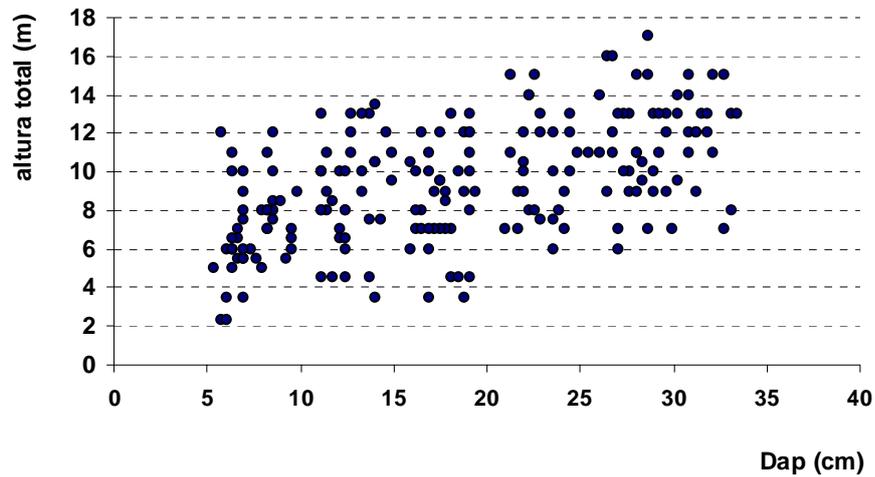


Figura 8. Relação entre o Dap e a altura total das árvores da amostra.

A Figura 9 mostra a relação existente entre o Dap e o volume total das árvores, que apresenta também um comportamento esperado, ou seja, a existência de uma boa relação entre essas variáveis.

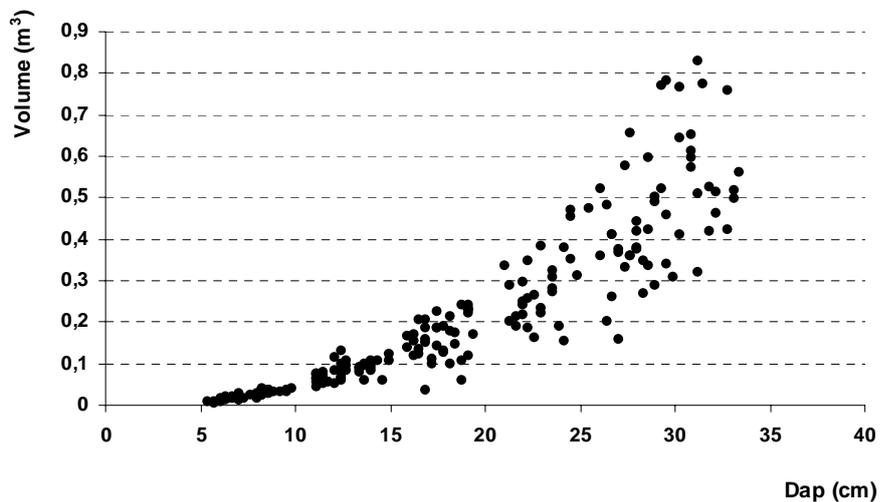


Figura 9. Relação entre o Dap e o volume total das árvores da amostra.

Como esperado, a dispersão dos dados do volume em torno da altura total mostra uma fraca relação entre essas variáveis como mostrado na figura 10.

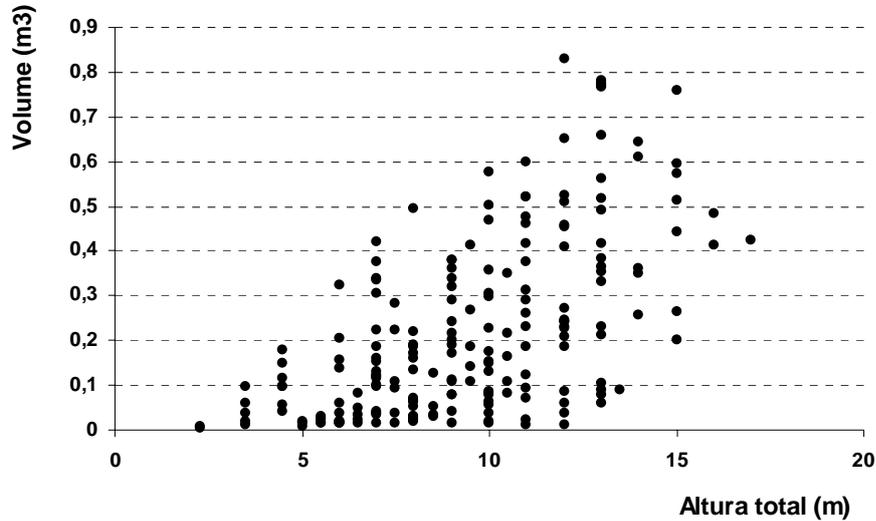


Figura 10. Relação entre a altura total e o volume.

Resumindo, verifica-se que o comportamento das variáveis dendrométricas das árvores selecionadas para compor a amostra da equação volumétrica, encontra-se dentro de padrões esperados para esse tipo de floresta, garantindo representatividade à mesma.

### 4.3. Relações Dendrométricas Entre As Variáveis dos Modelos Selecionados

#### 4.3.1. Modelo 1

- Equação que representa o modelo  $V = b_0 + b_1.D^2$
- Modelo genérico  $Y = b_0 + b_1.X + \xi$
- Identificação das variáveis  $Y = V \quad X = D^2$

A Figura 11 mostra a relação linear existente entre as variáveis do modelo 1, que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,914. Verifica-se que a relação é mais forte para os menores diâmetros e mais fraca para os maiores diâmetros, fruto da diferença de volume existente entre as copas das árvores de diferentes tamanhos e espécies.

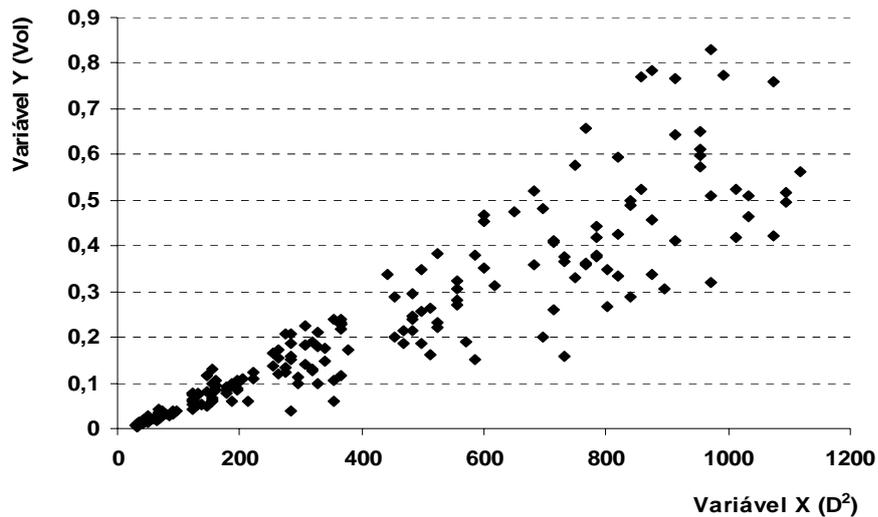


Figura 11. Relação linear entre as variáveis do modelo 1.

#### 4.3.2 Modelo 2

Equação que representa o modelo  $V = b_0 + b_1.D^2H$

Modelo genérico  $Y = b_0 + b_1.X + \xi$

Identificação das variáveis  $Y = V$        $X = D^2H$

A Figura 12 mostra a relação linear existente entre as variáveis do modelo 2, que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,929. Verifica-se que a relação é mais forte para os menores diâmetros e mais fraca para os maiores diâmetros, fruto da diferença de volume existente entre as copas das árvores de diferentes tamanhos e espécies e da fraca relação entre  $Dap$  e  $Ht$ .

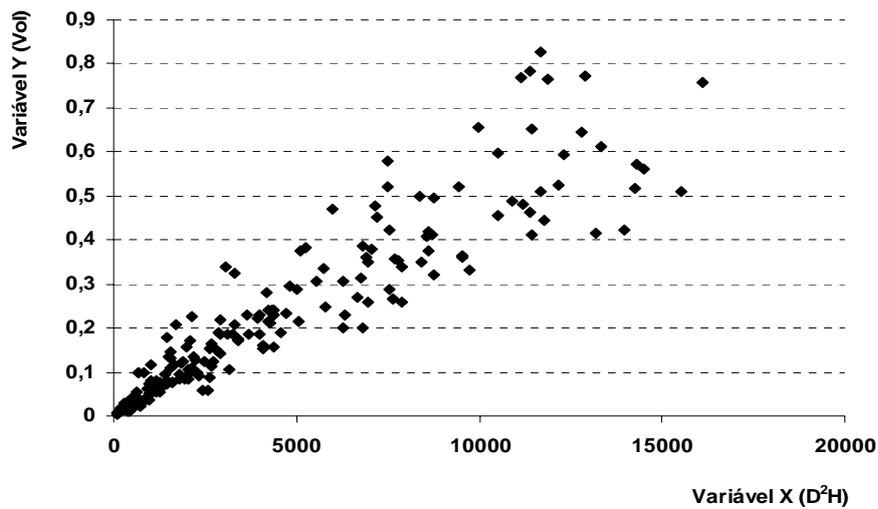


Figura 12. Relação linear entre as variáveis do modelo 2.

### 4.3.3 Modelo 3

Modelo original

$$V = b_0 \cdot D^{b_1}$$

Modelo linearizado

$$\text{LN}(V) = b_0 + b_1 \cdot \text{LN}(H)$$

Modelo genérico

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X + \xi$$

Identificação das variáveis

$$Y = \text{LN}(V) \quad X = \text{LN}(D)$$

A Figura 13 mostra a relação linear existente entre as variáveis do modelo 3, que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,968. Verifica-se que a relação permanece razoavelmente constante ao longo da amplitude dos dados. Esse comportamento, que se diferencia dos modelos anteriores tem sua explicação na natureza das variáveis do modelo 3, que são logarítmicas, estando, portanto, em uma base de representação diferente da dos outros modelos e que lhe confere uma menor variação.

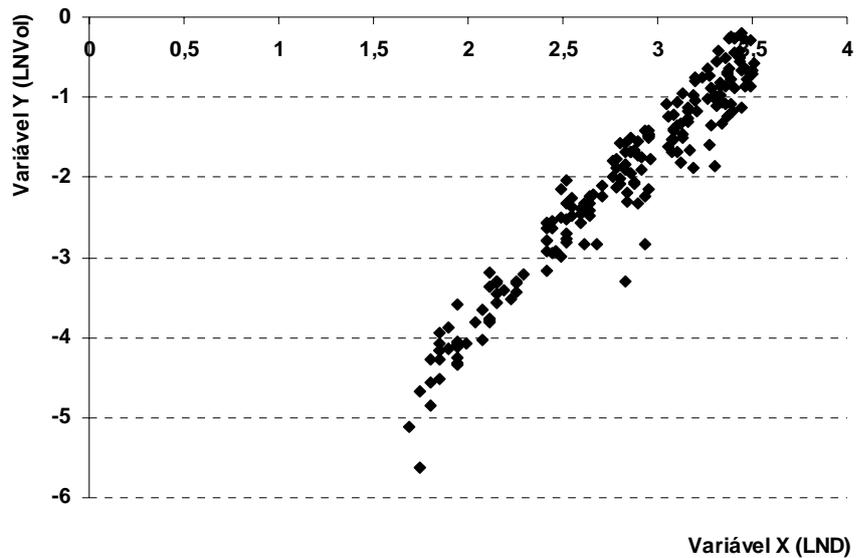


Figura 13. Relação linear entre as variáveis do modelo 3.

#### 4.3.4 Modelo 4

Modelo original

$$V = b_0 \cdot D^{b_1} \cdot H^{b_2}$$

Modelo linearizado

$$\text{LN}(V) = b_0 + b_1 \cdot \text{LN}(D) + b_2 \cdot \text{LN}(H)$$

Modelo genérico

$$Y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \xi$$

Identificação das variáveis

$$Y = \text{LN}(V) \quad X_1 = \text{LN}(D) \quad X_2 = \text{LN}(H)$$

A relação linear entre a variável  $X_1$  e a variável  $Y$  desse modelo é a mesma da relação entre as variáveis do modelo anterior, valendo então as mesmas considerações.

A Figura 14 mostra a relação entre a relação linear existente entre a variável  $X_2$  e a variável  $Y$  do modelo 4, que apresenta um coeficiente de correlação igual a 0,599, a menor entre todos os modelos testados, mostrando que, mesmo em uma base logarítmica, persiste a variabilidade entre a altura e o volume total das árvores seleccionadas para a equação volumétrica.

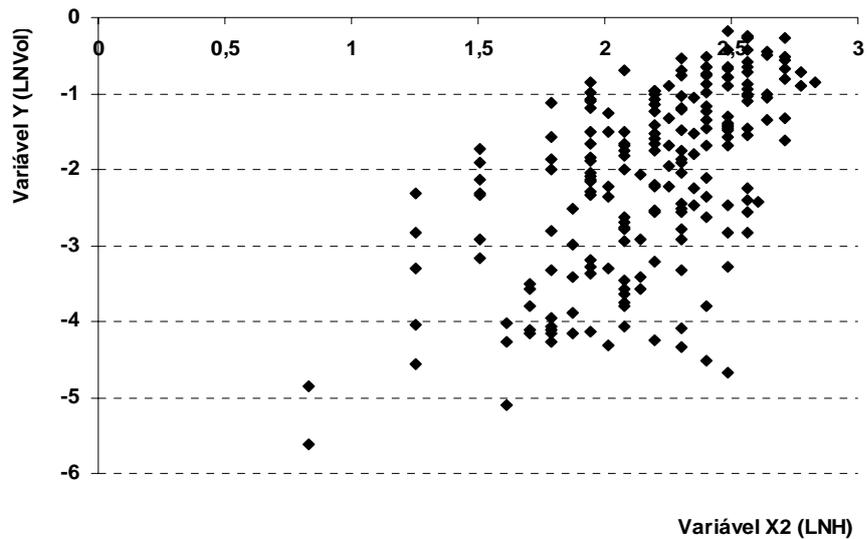


Figura 14. Relação linear entre as variáveis  $X_2$  e  $Y$  do modelo 4.

#### 4.4. Estatísticas Relevantes dos Modelos

Os Quadros 5 a 8 mostram as estatísticas relevantes dos modelos, cuja avaliação será efetuada nos itens subseqüentes.

Quadro 5. Estatísticas relevante do modelo 1.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,91369
R-Quadrado	0,8348
R-quadrado ajustado	0,8340
Erro padrão	0,0802
Índice de Furnival	0,0802
Observações	202

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	1	6,502265002	6,502265002	1010,878
Resíduo	200	1,286459348	0,006432297	
Total	201	7,788724349		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-0,01153896	0,009124683	-1,264589243	0,207490241
Variável X 1	0,000562592	1,76947E-05	31,79430214	3,825E-80

Quadro 6. Estatísticas relevantes do modelo 2

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo		0,92903		
R-Quadrado		0,86310		
R-quadrado ajustado		0,86241		
Erro padrão		0,07302		
Índice de Furnival		0,07302		
Observações		202		

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	1	6,7224401	6,72244	1260,90957
Resíduo	200	1,0662843	0,005331	
Total	201	7,7887243		

	<i>Erro</i>			
	<i>Coefficientes</i>	<i>padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	0,023836521	0,0074709	3,190581	0,00164874
Variável X 1	4,4829E-05	1,262E-06	35,50929	2,64958E-88

Quadro 7. Estatísticas relevantes do modelo 3.

<i>Estatística de regressão</i>				
R múltiplo		0,96812		
R-Quadrado		0,93726		
R-quadrado ajustado		0,93694		
Erro padrão		0,30504		
Índice de Furnival		0,03781		
Observações		202		

ANOVA				
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	1	278,0065997	278,0065997	2987,685887
Resíduo	200	18,61016253	0,093050813	
Total	201	296,6167622		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-8,4350963	0,118093641	71,42718399	2,627E-144
Variável X 1	2,27605139	0,041640371	54,6597282	3,3133E-122

Quadro 8. Estatísticas relevantes do modelo 4.

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,97447
R-Quadrado	0,94959
R-quadrado ajustado	0,94908
Erro padrão	0,27412
Índice de Furnival	0,03398
Observações	202

#### ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>
Regressão	2	281,6630293	140,8315146	1874,145507
Resíduo	199	14,95373294	0,075144387	
Total	201	296,6167622		

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>
Interseção	-8,9308087	0,127720193	-69,9247978	4,9083E-142
Variável X 1	2,11656911	0,043851613	48,26661894	8,2747E-112
Variável X 2	0,43187267	0,061912078	6,975580184	4,40889E-11

## 4.5. Escolha do Melhor Modelo

### 4.5.1 Linearidade das relações entre as variáveis dos modelos

As figuras representativas das relações lineares entre as variáveis dos modelos sob avaliação, mostraram que apenas a relação entre as variáveis  $X_2$  e  $Y$  poderia ser descartada em função da dispersão dos volumes em relação à altura, evidenciada pelo baixo valor do coeficiente de correlação. Entretanto, a eliminação da variável altura desse modelo transforma-lo-ia no modelo 3, inviabilizando o modelo 4. Por essa razão a variável altura total não foi descartada do modelo 4.

### 4.5.2 Avaliação dos dados discrepantes

Tomando-se como referencial os resíduos padronizados e os limites de -2 e +2, abaixo ou acima dos quais os dados seriam considerados discrepantes, verifica-se que, quando se analisa individualmente cada modelo, eles apresentam dados discrepantes, conforme mostra o Quadro 9. Entretanto, nenhuma árvore foi discrepante para todos os quatro modelos, evidenciando que o tipo de modelo influencia esse tipo de análise.

Considerando-se esse fato e o exame dos gráficos representativos das relações entre as variáveis mensuradas no campo, conclui-se que os desvios apresentados por algumas árvores

podem ser considerados normais, tendo em vista a diversidade das espécies existentes na população. Dessa forma, nenhuma árvore foi excluída da amostra.

Quadro 9. Análise dos resíduos padronizados dos modelos.

ÁRVORE NÚMERO	RESÍDUOS PADRONIZADOS			
	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4
2	-0,042	-0,324	-2,755	-3,831165371
58	0,559	0,628	2,405	1,981564582
60	0,290	0,596	2,312	1,257695568
65	0,677	0,500	2,053	2,159081283
80	-0,621	-1,095	-2,371	-1,634463252
91	-1,394	-0,432	-3,250	-4,24494701
92	0,721	1,453	2,192	1,397700078
110	-1,606	-0,285	-2,411	-3,54973524
121	1,254	2,399	2,047	1,371486572
143	-2,061	-0,750	-1,948	-2,283462795
145	1,780	2,412	1,495	1,302375297
150	1,869	2,217	1,245	1,180413054
152	-2,247	-1,429	-2,018	-2,035934482
157	-3,046	-0,881	-2,483	-3,040643458
160	2,096	2,993	1,403	1,162077424
164	2,961	2,554	1,368	1,496952896
169	-2,169	-1,362	-1,619	-1,637855183
173	-0,327	-3,093	-0,924	-0,194444077
174	-2,149	-1,013	-1,414	-1,542258409
178	3,719	3,362	1,510	1,595221271
181	3,762	3,404	1,493	1,57364526
182	-2,324	0,020	-1,050	-1,589412172
184	3,299	2,884	1,253	1,348141617
190	-2,690	-1,315	-1,602	-1,749425208
191	3,651	3,854	1,420	1,367880156
193	2,827	2,344	0,964	1,067148281
195	-1,767	-2,707	-1,377	-1,036622671
197	-0,731	-2,847	-0,933	-0,440707684
198	-2,139	0,837	-0,583	-1,218758519
199	2,062	0,158	0,358	0,706057861

#### 4.5.3. Avaliação dos coeficientes dos modelos

O exame dos resultados das estatísticas relevantes dos modelos revela que apenas o coeficiente  $b_0$  do modelo 1 não foi considerado significativo no nível de 95% de probabilidade. Como esse coeficiente tem um valor reduzido e não está ligado diretamente ao relacionamento entre as variáveis, o mesmo não foi descartado.

#### 4.5.4. Avaliação dos coeficientes de determinação, erros padrões e índices de Furnival dos modelos

Quadro 10. Resumo de algumas estatísticas relevantes dos modelos

ESTATÍSTICAS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3	MODELO 4
R múltiplo	0,91369	0,92903	0,96812	0,97447
R-Quadrado	0,8348	0,86310	0,93726	0,94959
R-quadrado ajustado	0,8340	0,86241	0,93694	0,94908
Erro padrão	0,0802	0,07302	0,30504	0,27412
Índice de Furnival	0,0802	0,07302	0,03781	0,03398

O coeficiente de determinação e erro padrão, não podem ser utilizados para comparar a precisão dos 4 modelos, pois existe diferença do número de variáveis entre os 3 primeiros modelos e o quarto e também pelo fato dos dois primeiros modelos estarem em uma escala e os dois últimos em outra escala (logarítmica).

Comparando-se os dois primeiros modelos pelo coeficiente de determinação e erro padrão, verifica-se que o modelo 2 apresenta ligeira vantagem sobre o modelo 1.

Comparando-se os dois últimos modelos pelo coeficiente de determinação corrigido, verifica-se que o modelo 4 apresenta ligeira vantagem sobre o modelo 3.

Para que fosse possível a comparação entre os 4 modelos, foi calculado o Índice de Furnival para os 4 modelos e a comparação entre esses valores mostrou que o modelo 4, com ligeira vantagem sobre o modelo 3, foi o que apresentou melhores resultados entre todos.

#### 4.5.5 Distribuição dos resíduos

As Figuras 15 e 16 mostram a distribuição dos resíduos para o modelo 1, verificando-se que os mesmos aumentam significativamente a partir de 20 cm de diâmetro (variável X = 400). Entretanto, quando se observa os resíduos percentuais, verifica-se que a variação é razoavelmente constante.

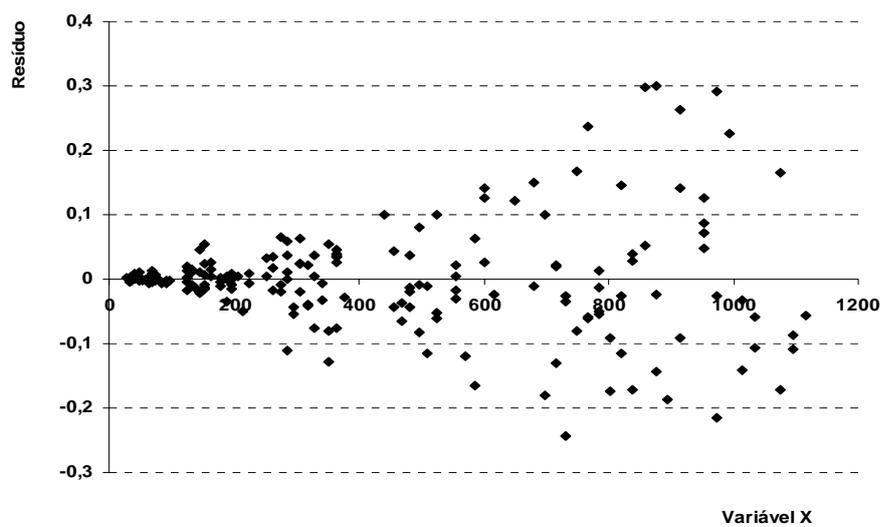


Figura 15. Distribuição dos resíduos do modelo 1

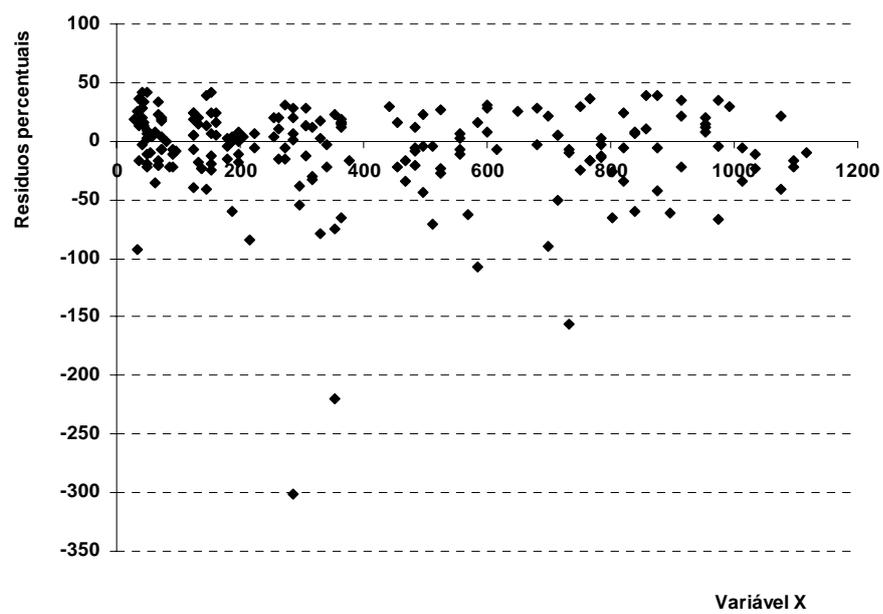


Figura 16. Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 1

As Figuras 17 e 18 mostram a distribuição dos resíduos para o modelo 2, onde a baixa correlação entre diâmetro e altura é responsável pela maior variação entre os resíduos simples e percentuais.

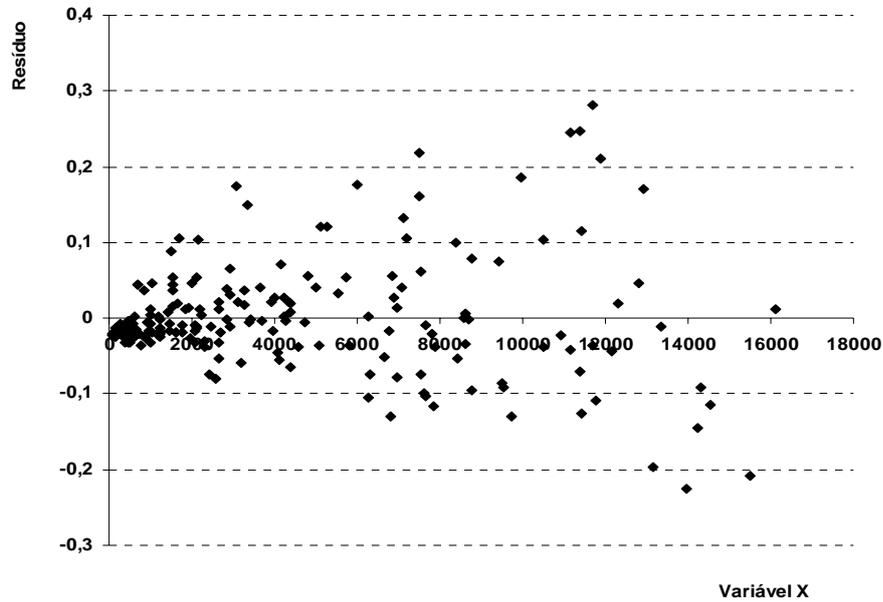


Figura 17. Distribuição dos resíduos do modelo 2

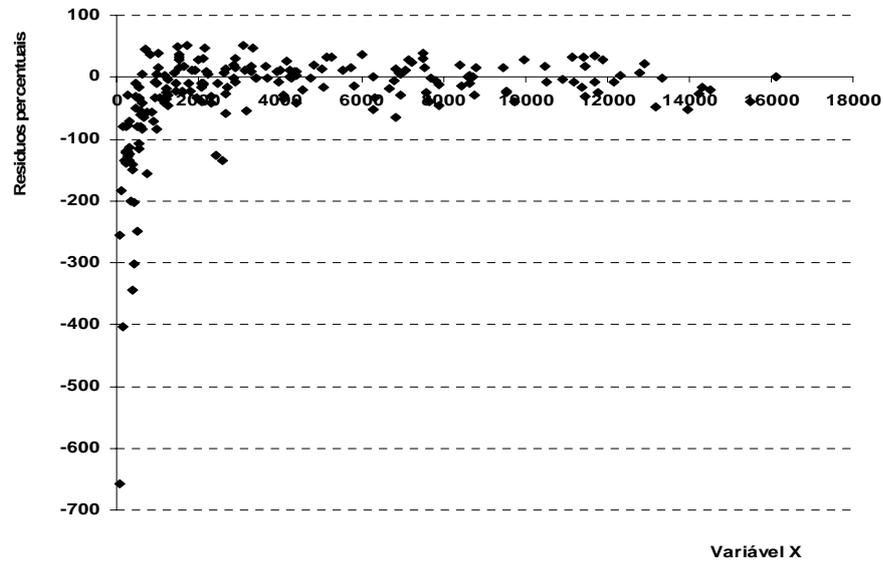


Figura 18. Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 2

As Figuras 19 e 20 mostram a distribuição dos resíduos para o modelo 3, mostrando a distribuição mais equilibrada tanto para os resíduos simples como para os resíduos percentuais. Nos resíduos percentuais, aparece um conjunto de árvores com os maiores diâmetros apresentando superestimativa em seus volumes totais.

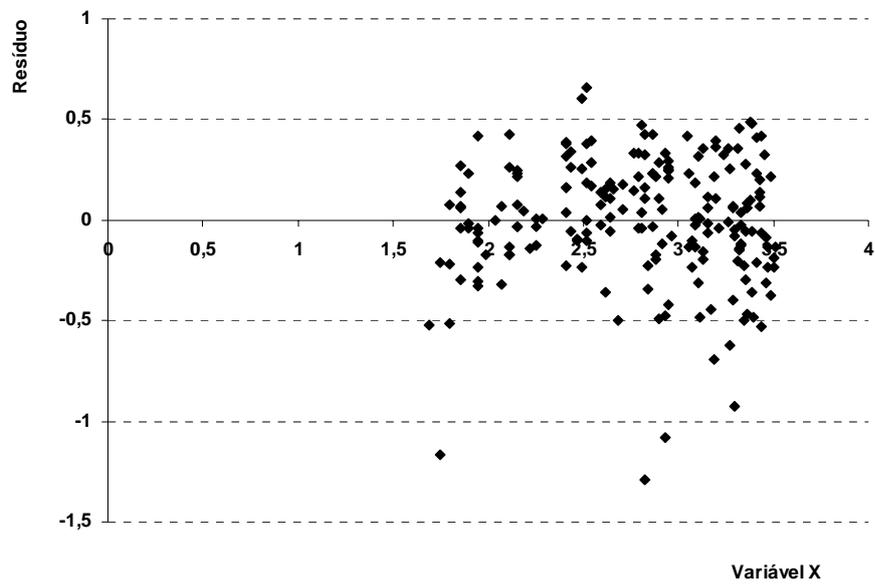


Figura 19. Distribuição dos resíduos do modelo 3

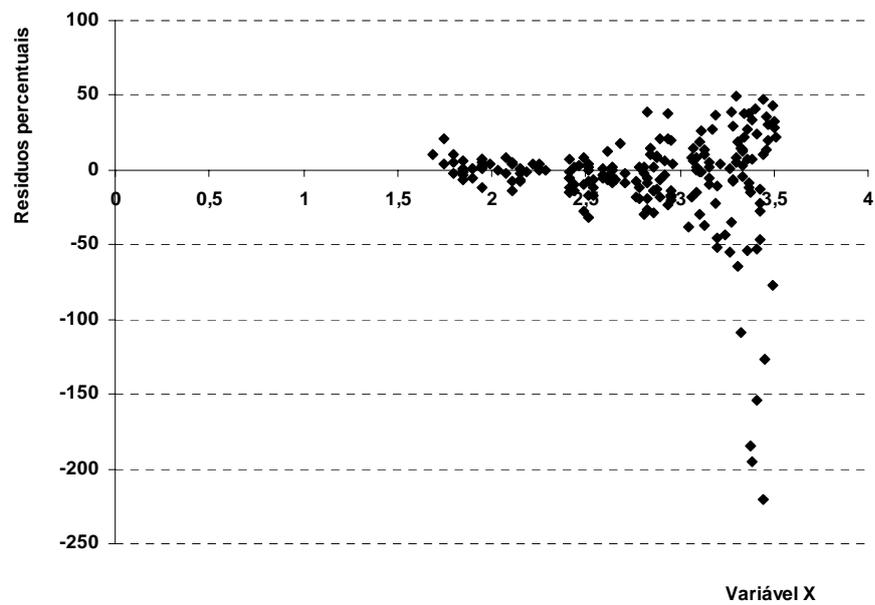


Figura 20. Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 3

As Figuras 21 a 24 mostram a distribuição dos resíduos para do modelo 4, para as variáveis  $X_1$  e  $X_2$ . O modelo 4 apresenta tendenciosidade de superestimativa na distribuição dos resíduos das árvores de menor diâmetro, quando se analisa em relação à variável  $X_1$  e uma distribuição mais equilibrada em relação à variável  $X_2$ . Nesse caso, pode-se afirmar que a variação do volume total acompanhou a variação da altura. Na distribuição dos resíduos percentuais, permanece a tendenciosidade da distribuição para os menores diâmetros, em relação à variável  $X_1$  e um aumento da variação, com relação à variável  $X_2$ .

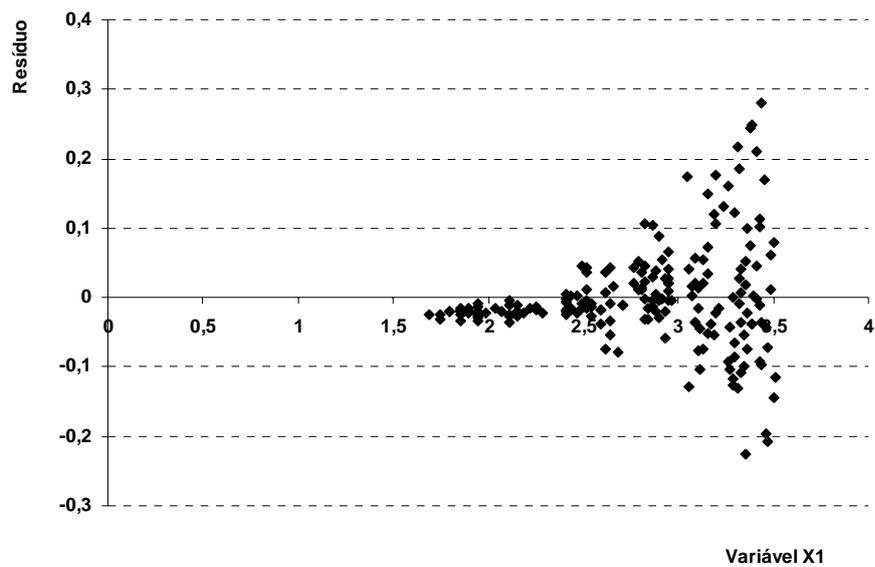


Figura 21. Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável  $X_1$ .

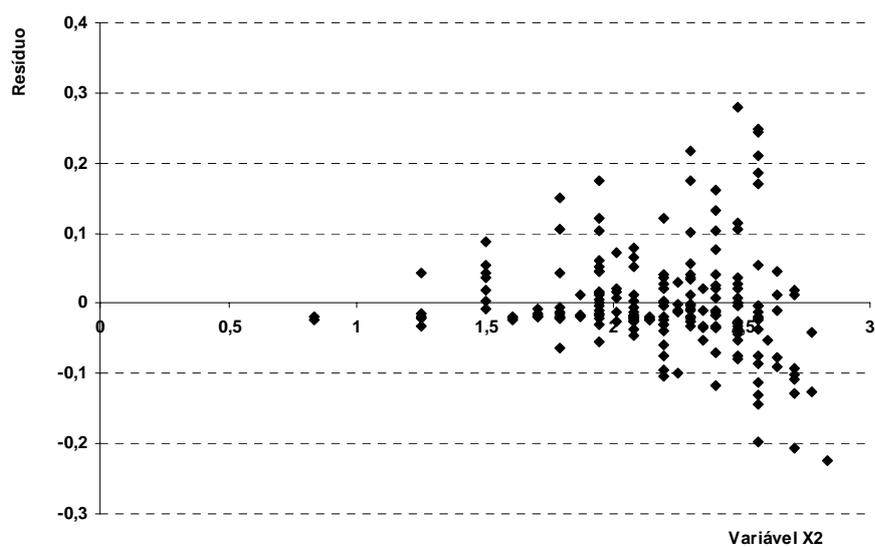


Figura 22. Distribuição dos resíduos do modelo 4 em relação à variável  $X_2$ .

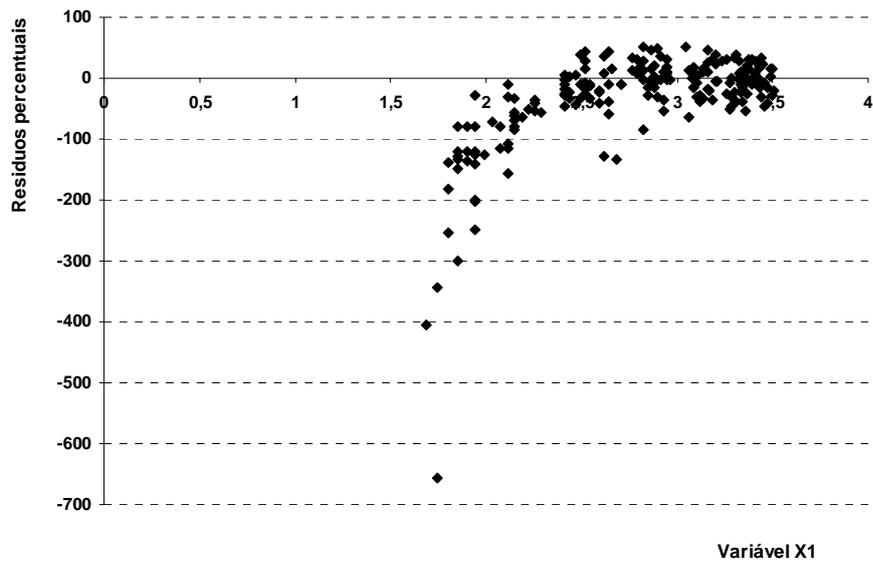


Figura 23. Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 4 em relação à variável  $X_1$ .

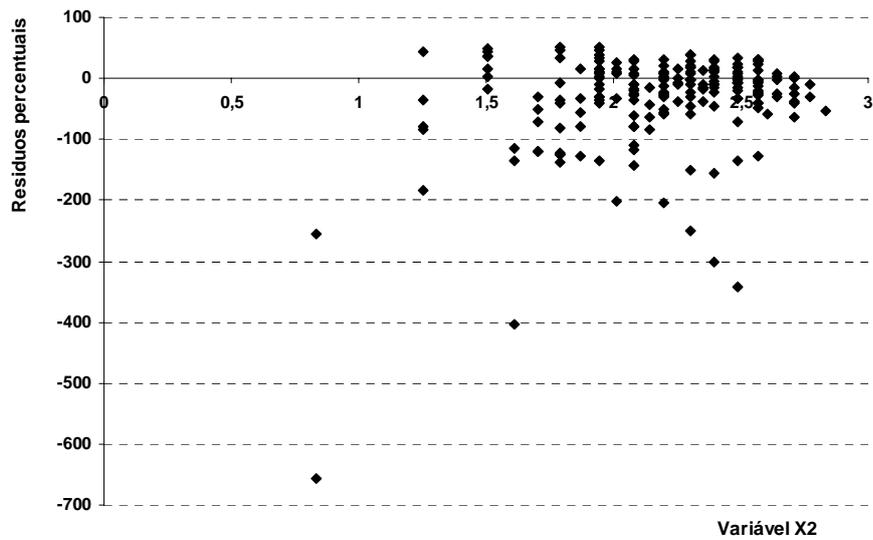


Figura 24. Distribuição dos resíduos percentuais do modelo 4 em relação à variável  $X_2$ .

Analisando-se os valores das estatísticas relevantes dos modelos, o melhor modelo seria o modelo 4. Entretanto, em função das tendenciosidades que esse modelo mostrou em relação à distribuição dos resíduos e da reduzida diferença entre os valores das estatísticas relevantes desse modelo em relação ao modelo 3, recomenda-se como melhor o modelo 3; por não ficar sujeito às incertezas da baixa correlação existente entre diâmetro e altura e dos eventuais erros de medição da altura no campo, em função dos problemas práticos que a obtenção do valor da altura apresenta.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A determinação de modelos para calcular o volume de árvores de qualquer floresta nativa é uma tarefa cercada de dificuldades e incertezas que se originam na identificação correta das espécies e continuam nas diferenças de valores que as alturas e diâmetros que as diversas espécies apresentam.

No presente caso, a amostragem realizada para obtenção da equação de volume pretendida coletou uma amostra que por sua dimensão e variedade de espécies pode ser considerada como extremamente representativa da população.

Mesmo assim, o processamento dos dados evidenciou os problemas desse processo, oriundos, na maioria dos casos, na baixa correlação entre as variáveis diâmetro e altura das árvores.

A escolha de um entre vários modelos, além de considerar as questões técnicas, deve também ponderar sobre a praticidade do mesmo.

A sugestão quanto ao melhor modelo entre os 4 testados levou em consideração as estatísticas relevantes dos mesmos, a distribuição dos resíduos e a questão da coleta dos dados no campo, optando pelo modelo 3 que, apresentando o segundo melhor desempenho quanto às estatísticas básicas e o melhor desempenho quanto à distribuição dos resíduos tem a vantagem de necessitar apenas da variável diâmetro para sua aplicação, que é fácil de ser medida e não está sujeita a erros como a medição da altura em povoamentos nativos, onde muitas vezes a visualização da altura total é dificultada pelo dossel existente.

A equação é representada então pela equação :

$$\text{LN}(V) = -8,4350963 + 2,27605139 \times \text{LN}(D)$$

Sendo: LN - logaritmo neperiano

V - volume total das árvores (fuste + copa), em m<sup>3</sup>

D - diâmetro das árvores, em cm

O volume real das árvores é obtido pelo antilogaritmo do valor calculado através da equação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATISTA, J.L.F. **Análise de Regressão**. Técnicas de Modelagem Florestal. ESALQ. USP. Piracicaba. 1998.
- IBGE. 1991. **Manual técnico da vegetação brasileira** / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – Rio de Janeiro. 92p.
- IUCN 2007. **2007 IUCN Red List of Threatened Species**. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>.
- LORENZI, H. 1995. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil V.1**. 1aed. Ed. Plantarum, Nova Odessa, SP.
- LORENZI, H. 1998. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil V.2**. 2aed. Ed. Plantarum, Nova Odessa, SP.
- ODUM, E.P. **Fundamentos de Ecologia**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 4ª ed., 1988. 927p.
- REIS, A.E.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L.; LEITE, H.G. Modelos de razão para estimar a biomassa de árvores individuais da floresta tropical úmida de terra firme da Amazônia brasileira. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.2, p.163-177, 1998.
- ROLIM, Samir Gonçalves, COUTO, Hilton Thadeu Z. do, JESUS, Renato Moraes de et al. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). **Acta Amaz.**, Jan./Mar. 2006, vol.36, no.1, p.107-114.
- SCOLFORO, J.R. e FIGUEIREDO FILHO, A. **Mensuração Florestal 2: volumetria**. Lavras ESAL/FAEPE, 1994. 126p.
- SCOLFORO, J.R.; FAISAL, J., *ET AL.* 2002. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish).
- TONINI, T.; RUTINÉIA, M.; PEREIRA, N.; *ET AL.* 2005. Seleção de Equações para o Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), no Estado de Roraima **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 04 Boa Vista, RR.
- VALCARCEL, R. **Problemas de drenagem do COMPERJ**,. Rio de Janeiro, UFRRJ, 2006. 33p.
- VALÉRIA, A.R; TEIXEIRA, A.V; SANQUETTA, C.R; FIGUEIREDO, A.F; FELFILI, J.M. 2006. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado *sensu stricto* em Brasília, DF. **SCIENTIA FORESTALIS** n. 71, p. 65-76.

VELOSO, H.P.; FILHO, A.L.R.R.; LIMA, J.C.A. 1991. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Fundação IBGE, Departamento de Recursos Naturais.