

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

**PREDIÇÃO DO VOLUME TOTAL, VOLUMES MERCANTIS,
PERFIL DO TRONCO E SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS
PARA A *Pinus pinaster* Aiton. NO DISTRITO DE CASTELO BRANCO**

CURSO DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Cristina Maria Martins Alegria

LISBOA
SETEMBRO, 1993

Ao Zé Augusto, à Catarina e ao André

Este trabalho foi apresentado no Instituto Superior de Agronomia (ISA), da Universidade Técnica de Lisboa (UTL), como dissertação para a obtenção do grau de Mestre no âmbito do Curso de Mestrado em Produção Vegetal do referido Instituto.

RESUMO

No presente estudo testaram-se 22 modelos de equações de volume, 7 modelos de equações de volume percentual em função da altura da desponta, 9 modelos de equações de volume percentual em função do diâmetro da desponta e 16 modelos de equações de perfil do tronco. Para o efeito, recolheram-se dados referentes a 146 árvores (1588 observações) em povoamentos de pinheiro bravo no distrito de Castelo Branco.

Resultou da análise estatística efectuada, para os 4 tipos de modelos referidos, a eleição da equação de volume de Spurr (1952) da variável combinada (EV3), a eleição da equação de volume percentual em função da altura da desponta de Cao *et al.* (1980) (EVP4), a eleição da equação de volume percentual em função do diâmetro da desponta de Deusen *et al.* (1981) (EVP10) e a eleição da equação de perfil de tronco de Demaerschalk (1973) (EPT8).

Com base na equação de perfil de tronco eleita, ajustou-se o sistema de equações compatíveis desenvolvido por Demaerschalk (1973) (S8).

Os resultados obtidos neste estudo apontam para uma certa consonância na hierarquização dos modelos testados comparativamente com outros estudos realizados por outros autores e para outras espécies e regiões.

Palavras chave: *Pinus pinaster* Aiton., Equações de volume, Equações de volume percentual, Equações de perfil do tronco, Sistemas de equações compatíveis, Volume total, Volume mercantil.

ABSTRACT

In this study 22 volume equations models, 7 volume ratio equations models in terms of height limit, 9 volume ratio equations models in terms of top diameter and 16 taper equations models were tested. The data used have been collected in 146 trees (1588 observations) in maritime pine stands located in the region of Castelo Branco.

According to the statistical analysis, for the 4 types of models referred, the volume equation from Spurr (1952) called combined variable (*EV3*), the volume ratio equation in terms of height limit from Cao *et al.* (1980) (*EVP4*), the volume ratio equation in terms of top diameter from Deusen *et al.* (1981) (*EVP10*) and the taper equation from Demaerschalk (1973) (*EPT8*) were selected.

Based on the taper equation selected, the compatible equations system developed by Demaerschalk (1973) (*S8*) was also adjusted.

The results obtained in this study for the models ranking are similar to those obtained in studies of this kind made by other authors and for other species and regions.

Key Words: *Pinus pinaster* Aiton., Volume equations, Volume ratio equations, Taper equations, Compatible equations system, Total volume, Merchantable volume.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível, com o apoio e colaboração de várias pessoas e entidades, às quais quero aqui deixar o meu agradecimento:

À Prof. Margarida Tomé a orientação científica desta tese.

Ao Prof. StAubyn a disponibilização de meios informáticos para a realização do tratamento estatístico dos dados, no Centro de Informática do ISA (CIISA), e ao Eng.º Eduardo Lopes pela ajuda prestada no decurso do tratamento estatístico dos dados no CIISA.

Ao Instituto Politécnico de Castelo Branco/Escola Superior Agrária (IPCB/ESA) os meios disponibilizados na concretização de diversos estudos de campo, no âmbito do projecto "Estudos de crescimento e produção em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. na região da Beira Interior". Assim como, pela disponibilização dos meios informáticos e reprográficos para a concretização do documento final objecto desta tese de Mestrado.

Aos alunos estagiários Carlos Grácio e Pedro Carvalho na recolha de dados no âmbito do referido projecto.

Ao aluno estagiário Luís Palinhos a disponibilização de dados recolhidos em pinhal, no âmbito do seu trabalho de fim de curso, na PORTUCEL.

Aos colegas Armando Ferreira e Filipe Carreiro a disponibilidade e ajuda prestada ao longo do processamento do texto em computador.

E finalmente, aos meus Pais e Tios por todo o apoio dispensado ao longo da minha estada em Lisboa para o tratamento dos dados no CIISA.

ÍNDICE

	PÁG.
LISTA DE ANEXOS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.	
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS.....	8
2.1. Modelos testados em trabalhos prévios	8
2.2. Algumas considerações sobre os modelos apresentados	35
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1. Área de estudo e descrição dos locais amostrados	40
3.2. Critérios de amostragem utilizados	44
3.3. Caracterização dos dados recolhidos	46
3.4. Ajustamento dos modelos. Critérios estatísticos utilizados na selecção dos modelos	51
3.5. Procedimentos	61

	PÁG.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1. Equações de volume	78
4.2. Equações de volume percentual	85
4.2.1. Equações de volume percentual em função de h	85
4.2.2. Equações de volume percentual em função de d	97
4.3. Equações de perfil do tronco	113
4.3.1. Equações de perfil de tronco - reconstituição do perfil da árvore	113
4.3.2. Equações de perfil de tronco - predição de volumes	135
4.4. Análise dos modelos seleccionados	157
4.5. Sistemas de equações compatíveis	169
5. CONCLUSÕES	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	178
ANEXOS	185

LISTA DE ANEXOS

	PÁG.
ANEXO I - EXTRACTO DAS TABELAS DA DGSFA (1969):	
PINHEIRO BRAVO	186
ANEXO II - CARACTERIZAÇÃO DOS LOCAIS DE AMOSTRA E DOS	
DADOS RECOLHIDOS	189
II.1. Breve caracterização edafo-climática e ecológica das zonas	
de estudo	190
ANEXO III - PROGRAMAS UTILIZADOS EM GENSTAT5 E CARACTERIZAÇÃO	
DOS SUB-CONJUNTOS DE DADOS DE AJUSTAMENTO E	
VALIDAÇÃO	192
III.1. Programas em Genstat5	193
III.2. Caracterização dos sub-conjuntos de dados	218
III.2.1. Variável volume total com casca	218
III.2.2. Variável volume mercantil com casca a partir do	
solo	219
III.2.3. Variáveis diâmetro com casca ao longo do perfil,	
altura ao longo do perfil, <i>DAP</i> com casca, altura	
total, diâmetro do cepo com casca e altura do cepo	221

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
Figura 3.1: Localização dos locais de amostragem	41
Figura 3.2: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e por periodos - <i>DAP</i> com casca	48
Figura 3.3: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e por periodos - Altura total	49
Figura 3.4: Diagrama das fases da análise de regressão	52
Figura 3.5: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - <i>DAP</i> com casca	64
Figura 3.6: Diagrama dos procedimentos utilizados no ajustamento dos modelos	67
Figura 3.7: Diagrama síntese dos procedimentos de selecção dos modelos	76
Figura 4.1: Gráficos de resíduos para o volume total com casca para o modelo <i>EV3</i>	161
Figura 4.2: Gráficos de resíduos para o volume mercantil com casca para o modelo <i>EVP4</i>	162
Figura 4.3: Gráficos de resíduos para o volume mercantil com casca para o. modelo <i>EVPI0</i>	163
Figura 4.4: Gráficos de resíduos para o diâmetro com casca ao longo do perfil para o modelo <i>EPT8</i>	164
Figura 4.5: Gráficos de resíduos para o volume total com casca e volume mercantil com casca para o modelo <i>EPT8</i>	165

PÁG.

Figura 4.6: Gráficos de resíduos para o volume total com casca para o modelo <i>EV3</i> e <i>EV3</i> do sistema <i>S8</i>	172
Figura AIII.1: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Volume total com casca	219
Figura AIII.2: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Volume mercantil com casca a partir do solo	220
Figura AIII.3: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Diâmetro com casca ao longo do perfil	222
Figura AIII.4: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Altura ao longo do perfil	223
Figura AIII.5: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - <i>DAP</i> com casca	224
Figura AIII.6: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Altura total	225
Figura AIII.7: Histogramas de frequências relativas para os dados no global e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Diâmetro do cepo com casca	226

PÁG.

Figura AIII.8: Histogramas de frequências relativas para os dados no global
e sub-conjuntos de validação e ajustamento - Altura do cepo 227

LISTA DE SÍMBOLOS

a_i, b_i, f_i, g_i = coeficientes de regressão estimados a partir da amostra;

D = DAP, diâmetro à altura do peito (cm);

d = diâmetro do tronco (com casca ou sem casca) (cm) à altura h ;

H = altura total (m);

h = altura acima do solo (m) até ao diâmetro do tronco d ;

h_c = altura do cepo (m);

$K = \pi 1/[4*(100)^2] = \pi 2/40000$, constante que quando multiplicada por D^2 iguala a área basal da árvore em m^2 ;

V_T = volume total da árvore (com casca ou sem casca) (m^3);

v_t = volume acima do cepo (com casca ou sem casca) (m^3);

v_m = volume (com casca ou sem casca) (m^3) desde o solo até um diâmetro ou altura do tronco;

V_M = volume mercantil (acima do cepo) (com casca ou sem casca) (m^3) até a um diâmetro ou altura do tronco;

$p = H - h$;

$z = (H - h)/H$, altura relativa da árvore;

$x = (H - h)/(H - 1.3)$;

R = percentagem do volume total da árvore abaixo de um diâmetro (tipo R_d) ou altura do tronco (tipo R_h) (i.e., $v_m/V_T = V_M/v_t$ ou V_M/V_T).

LISTA DE TABELAS

	PÁG.
Tabela 2.1: Modelos de equações de volume de dupla entrada	10
Tabela 2.2: Modelos de equações de volume percentual	12
Tabela 2.3: Modelos de equações de perfil do tronco	15
Tabela 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis	25
Tabela 3.1: Locais amostrados, nº de árvores abatidas e nº de observações	42
Tabela 3.2: Amostragem proporcional	44
Tabela 3.3: Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação para as variáveis <i>DAP</i> e altura total	46
Tabela 3.4: Amplitude dos dados das variáveis altura do cepo, toragem, diâmetro mercantil, altura mercantil e bicada	50
Tabela 3.5: Amplitude dos dados das variáveis volume total com casca, volume mercantil com casca a partir do solo, diâmetro mercantil com casca ao longo do perfil, altura ao longo do perfil, <i>DAP</i> com casca, altura total, diâmetro do cepo com casca e altura do cepo e respectivos nº de observações	63
Tabela 3.6: Critérios para a avaliação dos modelos	71
Tabela 4.1: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume não lineares	79

PÁG.

Tabela 4.2: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume não lineares	79
Tabela 4.3: Ordenação dos modelos de equações de volume não lineares.....	80
Tabela 4.4: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume lineares	82
Tabela 4.5: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume lineares	83
Tabela 4.6: Ordenação dos modelos de equações de volume lineares	84
Tabela 4.7: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume percentual não lineares, em função de h	86
Tabela 4.8: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume percentual não lineares, em função de h	87
Tabela 4.9: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de h	87
Tabela 4.10: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual não lineares, em função de h	88
Tabela 4.11: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de h , segundo classes de 10% da altura total	90

PÁG.

Tabela 4.12: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual não lineares, em função de h	91
Tabela 4.13: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de h , segundo classes de diâmetro do tronco (5 cm)	93
Tabela 4.14: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume percentual lineares, em função de h	94
Tabela 4.15: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume percentual lineares, em função de h	94
Tabela 4.16: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual lineares, em função de h	95
Tabela 4.17: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual lineares, em função de h	96
Tabela 4.18: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume percentual não lineares, em função de d	98
Tabela 4.19: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume percentual não lineares, em função de d	99
Tabela 4.20: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de d	99

PÁG.

Tabela 4.21: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual não lineares, em função de d	100
Tabela 4.22: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de d , segundo classes de 10% da altura total	103
Tabela 4.23: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual não lineares, em função de d	104
Tabela 4.24: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual não lineares, em função de d , segundo classes de diâmetro do tronco (5 cm)	106
Tabela 4.25: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de volume percentual lineares, em função de d	107
Tabela 4.26: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de volume percentual lineares, em função de d	108
Tabela 4.27: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual lineares em função de d	108
Tabela 4.28: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual lineares, em função de d	109

PÁG.

Tabela 4.29: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual lineares em função de d , segundo classes de 10% da altura total	110
Tabela 4.30: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de volume percentual lineares, em função de d	111
Tabela 4.31: Ordenação dos modelos de equações de volume percentual lineares em função de d , segundo classes de diâmetro do tronco (5 cm)	112
Tabela 4.32: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de perfil de tronco não lineares	115
Tabela 4.33: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de perfil de tronco não lineares	115
Tabela 4.34: Ordenação dos modelos de equações de perfil de tronco não lineares	117
Tabela 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco não lineares	117
Tabela 4.36: Ordenação dos modelos de equações de perfil do tronco não lineares, segundo classes de 10% da altura total	124

PÁG.

Tabela 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco não lineares	125
Tabela 4.38: Ordenação dos modelos de equações de perfil do tronco não lineares, segundo classes de diâmetro do tronco (5 cm)	131
Tabela 4.39: Estatísticas calculadas na fase de ajustamento - equações de perfil de tronco lineares	132
Tabela 4.40: Estatísticas calculadas na fase de validação - equações de perfil de tronco lineares	132
Tabela 4.41: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para o modelo de perfil do tronco linear	133
Tabela 4.42: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para o modelo de perfil do tronco linear	134
Tabela 4.43: Estatísticas de predição calculadas em termos de volume total obtido por estimativa através das equações de perfil de tronco não lineares	135
Tabela 4.44: Ordenação dos modelos de equações de perfil de tronco não lineares para a predição do volume total	137

PÁG.

Tabela 4.45: Estatísticas de predição calculadas em termos de volume total obtido por estimativa através das equações de perfil de tronco lineares	137
Tabela 4.46: Estatísticas de predição calculadas em termos de volumes mercantis obtidos por estimativa através das equações de perfil de tronco não lineares	138
Tabela 4.47: Ordenação dos modelos de equações de perfil de tronco não lineares para a predição de volumes mercantis	139
Tabela 4.48: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco não lineares quanto à predição de volumes mercantis	140
Tabela 4.49: Ordenação dos modelos de equações de perfil do tronco não lineares quanto à predição de volumes mercantis, segundo classes de 10% da altura total	146
Tabela 4.50: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco não lineares quanto à predição de volumes mercantis	147
Tabela 4.51: Ordenação dos modelos de equações de perfil do tronco não lineares quanto à predição de volumes mercantis, segundo classes de diâmetro do tronco (5 cm)	153

PÁG.

Tabela 4.52: Estatísticas de predição calculadas em termos de volumes mercantis obtidos por estimativa através da equação de perfil de tronco linear	154
Tabela 4.53: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco lineares quanto à predição de volumes mercantis	154
Tabela 4.54: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - para os modelos de perfil do tronco lineares quanto à predição de volumes mercantis	156
Tabela 4.55: Estatísticas de predição - tabela resumo para os modelos eleitos	158
Tabela 4.56: Estatísticas de ajustamento e predição para o modelo <i>EV3</i>	166
Tabela 4.57: Estatísticas de ajustamento e predição para o modelo <i>EVP4</i>	167
Tabela 4.58: Estatísticas de ajustamento e predição para o modelo <i>EVP10</i>	168
Tabela 4.59: Estatísticas de ajustamento e predição para o modelo <i>EPT8</i>	169
Tabela 4.60: Estatísticas de ajustamento e predição e parâmetros livres para a equação de perfil do tronco do sistema <i>S8</i>	169
Tabela 4.61: Estatística de predição para a equação de volume do sistema <i>S8</i>	171
Tabela AII.1: Zonas ecológicas dos locais de amostragem	191

1. INTRODUÇÃO

Segundo a informação disponível em 1992, pela Direcção Geral das Florestas (DGF), de entre os cerca de 3.108×10^6 ha (34.9%) da floresta existente em Portugal são os povoamentos de pinheiro bravo a sua essência mais representativa com 1.2523×10^6 ha (40.3%) (DGF, 1993). No distrito de Castelo Branco a floresta representa 286.3×10^3 ha (42%) ocupando o pinheiro bravo 190.8×10^3 ha (67%) (DGF, 1993), realçando a dominância desta espécie no panorama florestal do distrito. Em termos da sua distribuição geográfica é na chamada zona do pinhal, que liga em continuidade com a grande mancha de pinheiro bravo do centro do País, que a floresta de pinheiro da região tem a sua expressão plena.

Numa perspectiva do proprietário florestal, um dos procedimentos que se revelam de marcado interesse é a cubagem das árvores, com vista à determinação do seu volume. A determinação do volume da árvore em pé, normalmente o volume total com casca ou sem casca, é geralmente realizada recorrendo-se às equações de volume (Tomé, 1991). No entanto, podemos também recorrer às equações de volume percentual e às equações de perfil de tronco, caso pretendamos outro tipo de volume que não só o volume total da árvore, como sejam os volumes mercantis ou outro qualquer volume parcial (com casca ou sem casca).

As equações de volume clássicas são equações de regressão que relacionam um volume específico, e.g. o volume total com casca ou sem casca, ou um volume parcial, mercantil ou não, com casca ou sem casca, com variáveis dendrométricas da árvore, de medição expedita e directa, como o diâmetro à altura do peito (1.30m do solo), a altura total da árvore e um factor de forma (coeficiente de forma, quociente de forma ou outro parâmetro que traduza a forma da árvore)

1. INTRODUÇÃO

(Loetsch *et al.*, 1973; Husch *et al.*, 1982; Avery e Burkhart, 1983):

$$V = f(D, H, F)$$

onde, V = volume total (com casca ou sem casca); volume parcial, mercantil ou não (com casca ou sem casca) (m^3);

D = DAP, diâmetro à altura do peito (1.30m do solo) (cm);

H = altura total da árvore (m);

F = factor de forma.

A predição de volumes mercantis para limites de despona mercantis variáveis tem sido conseguida através do ajustamento de uma equação de regressão separada para cada um dos limites de despona mercantis pretendidos (Clutter *et al.*, 1983). Tal implica a existência de tantas equações quantos os limites de despona mercantis pretendidos. Assim, às equações de volume clássicas pode-se imputar uma importante limitação de aplicabilidade, visto que uma vez construídas só podem ser aplicadas para estimar sempre o mesmo tipo de volume (Tomé, 1991). Caso pretendamos outro tipo de volume, como seja um determinado volume mercantil definido por um determinado limite mercantil ou ainda diversos volumes mercantis definidos por limites mercantis variáveis, será necessário construir novas equações específicas para cada uma das situações pretendidas (p.e. Ormerod, 1973; Burkhart, 1977). São assim, ferramentas pouco flexíveis.

Para além desta limitação, segundo Burkhart (1977) e Cao *et al.* (1980), quando equações para diferentes volumes mercantis são ajustadas independentemente têm a indesejável característica de produzir superfícies volúmicas que se podem cruzar illogicamente dentro da amplitude de variação dos dados, obtendo-se estimativas inconsistentes para os diferentes volumes mercantis do tronco de uma mesma árvore.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Clutter *et al.* (1983), diversos estudos propuseram equações de volume que utilizam o limite de despona como variável independente (p.e. Honer, 1964; Burkhart, 1977; Queen e Pienaar, 1977; Brister *et al.*, 1980). Desta forma, torna-se possível estimar volumes mercantis segundo diferentes limites de despona recorrendo apenas a uma única equação, as equações de volume percentual.

As equações de volume percentual (Burkhart, 1977; Cao *et al.*, 1980; Deusen, 1981; Clutter *et al.*, 1983) são equações de regressão que vão relacionar as percentagens do volume total (com casca ou sem casca) abaixo de diversos limites de despona com variáveis como o diâmetro à altura do peito (1.30m do solo), a altura total da árvore e os respectivos limites de despona (com casca ou sem casca), i.e. diâmetros de despona (com casca ou sem casca) ou alturas de despona medidas a partir do solo:

$$R = f(D, H, d \text{ ou } h)$$

onde, R = percentagem do volume total (com casca ou sem casca) abaixo do limite de despona pretendido, seja ela, VM/VT ou vm/VT ou VM/vt ;

D = DAP, diâmetro à altura do peito (1.30m do solo) (cm);

H = altura total da árvore (m);

d e h = diâmetro do tronco (com casca ou sem casca) (cm) e altura do tronco medida a partir do solo (m), que correspondem aos limites de despona pretendidos;

VM = volume mercantil (com casca ou sem casca) à despona pretendida (m^3);

VT = volume total (com casca ou sem casca) (m^3);

vm = volume (com casca ou sem casca) desde o solo até à despona pretendida (m^3);

vt = volume acima do cepo (com casca ou sem casca) (m^3).

1. INTRODUÇÃO

Não obstante, a aplicação deste tipo de equações pressupõe à priori a existência de uma equação de volume para a predição do volume total da árvore. Isto é, a equação de volume percentual necessita ter associada implicitamente uma equação de volume gerando assim, um sistema de equações (Clutter *et al.*, 1983).

Visto que estas equações dependem da predição do volume total da árvore (com casca ou sem casca), para evitar incongruências nas estimativas destes volumes parciais relativamente ao volume total do tronco da árvore, é de extrema importância que o sistema de equações, *equação de volume total* e *equação de volume percentual*, seja um sistema de equações *compatíveis*, i.e., para $d=0$ ou $h=H$, deverá estimar um volume igual ao volume total estimado pela equação de volume, ou seja, R deverá ser igual a 1 (100% do volume total), para $d=0$ ou $h=H$ (Tomé, 1991).

Estas equações permitem também, a estimativa de volumes de porções de lenho compreendidas entre dois diâmetros ou duas alturas ao longo do tronco por subtração dos respectivos volumes mercantis estimados para cada um destes diâmetros ou alturas (Burkhart, 1977).

Todavia, desde longa data que autores como Kozak *et al.* (1969), Ormerod (1973), entre outros, referem que para a exploração mercantil do tronco das árvores pode não ser suficiente apenas a quantificação de um volume mercantil originado a partir de uma altura do cepo (altura de abate ou corte) e de um limite de despona mas também, ser necessário saber o volume do material lenhoso de acordo com classes de aproveitamento da madeira em associação com as dimensões dos toros: toros para serração, toros para vedações, toros para estilha, etc.

1. INTRODUÇÃO

É frequente estas especificações mercantis para o aproveitamento do lenho variarem em função das exigências do mercado havendo assim, a necessidade de criar modelos que tenham a flexibilidade de permitir um qualquer fraccionamento do tronco segundo as especificações de utilização comercial do lenho que se pretendam no momento (toragem comercial e diâmetros limite de aproveitamento da madeira).

Nesse sentido, a modelação do perfil do tronco, na medida em que o perfil do tronco afecta grandemente o volume mercantil da árvore (Cao *et al.*, 1980), foi ensaiada por diversos autores (p.e. Kozak *et al.*, 1969; Ormerod, 1973; Demaerschalk, 1973).

Uma *equação de perfil do tronco* expressa a relação entre um diâmetro a um determinado nível do tronco da árvore (com casca ou sem casca) como função da altura a partir do solo até ao respectivo nível do tronco, do diâmetro à altura do peito e da altura total da árvore (Clutter *et al.*, 1983):

$$d = f(h, D, H)$$

onde, d e h = diâmetro do tronco (cm) e respectiva altura do tronco a partir do solo (m);

D = DAP, diâmetro à altura do peito (1.30m a partir do solo) (cm);

H = altura total da árvore (m).

A estimativa dos volumes parciais segundo classes de aproveitamento do lenho do tronco, de acordo com restrições ao comprimento dos toros e aos diâmetros de aproveitamento comercial dos mesmos, pode realizar-se por integração da equação de perfil do tronco entre os limites de altura correspondentes aos limites de aproveitamento comercial do tronco pretendidos (Biging, 1984). Ou através da reconstituição do perfil da árvore através da equação de perfil do tronco e subsequente cubagem rigorosa para a obtenção dos volumes segundo os limites de aproveitamento comercial do

1. INTRODUÇÃO

tronco pretendidos.

Desta forma, as equações de perfil do tronco permitem obter uma informação mais desagregada dos volumes parciais do tronco da árvore. São assim, ferramentas complementares dos sistemas de equações, equação de volume - equação de volume percentual, na predição dos volumes do tronco (Clutter *et al.*, 1983). Também, para as equações de perfil do tronco se levanta o problema da compatibilidade de estimativas do volume total pela equação de volume e pela equação de perfil de tronco. Segundo Demaerschalk (1971, 1972, 1973), uma equação de perfil do tronco é compatível quando a sua integração entre zero e a altura total gera uma estimativa do volume total da árvore idêntica à de uma dada equação de volume que lhe está associada. Caso contrário, define-se de equação de perfil do tronco não compatível (Cao *et al.*, 1980).

Na região em estudo, tem sido a Circunscrição dos Serviços Florestais da Sertã que maior intervenção tem tido ao nível do apoio técnico aos proprietários florestais da zona do pinhal no processo da cubagem de árvores. Para a espécie e região dispomos das tabelas de volume da Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas (DGSFA) datadas de 1969. Neste documento encontramos diversas tabelas, consoante a espécie e região. Para o caso particular, deve ser consultada a tabela para o pinheiro bravo, zona Norte do Tejo, sub-região 5. Esta tabela fornece o volume total do tronco, com casca, em metros cúbicos, e é traduzida pela equação seguinte:

$$VT = 17.3 + 0.03293 D^2 H$$

onde, VT = volume total do tronco, com casca (dm^3);

D = DAP , diâmetro (cm) da árvore à altura do peito (1.30m a partir do solo);

H = altura total da árvore (m).

No presente trabalho pretende-se, dada a reconhecida importância que a espécie tem no País

1. INTRODUÇÃO

e na região, e porque a informação dum forma geral se encontra desactualizada e sem um grau de desagregação que permita a realização de estudos de detalhe, realizar o ajustamento de diversos modelos matemáticos de equações de volume, equações de perfil do tronco e equações de volume percentual, e ainda sistemas de equações compatíveis constituídos pelos vários tipos daquelas equações, com o propósito de obter um conjunto de modelos mais actuais e flexíveis que ajudem à cubagem do pinheiro no distrito de Castelo Branco, segundo o seu volume total ou segundo volumes mercantis e/ou volumes por classes de aproveitamento do tronco.

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL. SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

2.1. MODELOS TESTADOS EM TRABALHOS PRÉVIOS

As tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 apresentam uma resenha dos modelos mais divulgados em bibliografia sobre o assunto, respectivamente, para o ajustamento de equações de volume, de equações de volume percentual, de equações de perfil de tronco e finalmente, de sistemas de equações compatíveis para a reconstituição do perfil do tronco e/ou predição de volumes da árvore.

A notação utilizada na apresentação dos diversos modelos foi a seguinte:

a_i, b_i, f_i, g_i = coeficientes de regressão estimados a partir da amostra;

D = DAP, diâmetro à altura do peito (cm);

d = diâmetro do tronco (com casca ou sem casca) (cm) à altura h ;

H = altura total (m);

h = altura acima do solo (m) até ao diâmetro do tronco d ;

h_c = altura do cepo (m);

$K = \pi 1/[4*(100)^2] = \pi 2/40000$, constante que quando multiplicada por D^2 iguala a área basal da árvore em m^2 ;

VT = volume total da árvore (com casca ou sem casca) (m^3);

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

v_t = volume acima do cepo (com casca ou sem casca) (m^3);

v_m = volume (com casca ou sem casca) (m^3) desde o solo até um diâmetro ou altura do tronco;

VM = volume mercantil (acima do cepo) (com casca ou sem casca) (m^3) até a um diâmetro ou altura do tronco;

$p = H - h$;

$z = (H - h) / H$, altura relativa da árvore;

$x = (H - h) / (H - 1.3)$;

R = percentagem do volume total da árvore abaixo de um diâmetro (tipo R_d) ou altura do tronco (tipo R_h) (i.e., $v_m / VT = VM / vt$ ou VM / VT).

Ao longo deste trabalho iremos adoptar esta mesma notação. Caso seja necessário diferenciar alguma variável relativamente à circunstância de esta ter sido recolhida ou calculada com casca ou sem casca, ser-lhe-á indexada, respectivamente, as siglas c/c ou s/c . Também, com vista à simplificação de escrita, iremos adoptar as seguintes abreviaturas para discriminar os três tipos de equações a modelar e os sistemas de equações compatíveis:

EV = equação de volume;

EVP = equação de volume percentual;

EPT = equação de perfil de tronco;

S = sistemas de equações compatíveis (EV e/ou EVP e/ou EPT).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.1: Modelos de equações de volume de dupla entrada

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
EV1 Schumacher e Hall (1933), segundo Clutter <i>et al.</i> (1980)	$VT = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$
EV2 Stoate (1945), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973), equação australiana	$VT = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 H$
EV3 Spurr (1952), segundo Deusen (1981) e Burkhart (1977), variável combinada	$VT = b_0 + b_1 D^2 H$
EV4 Spurr (1952), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973), equação da variável combinada logaritmica	$\log(VT) = b_0 + b_1 \log(D^2 H)$
EV5 Spurr (1952), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973)	$\log(VT) = b_0 + b_1 \log(D) + b_2 \log^2(D) + b_3 \log(H) + b_4 \log^2(H)$
EV6 Spurr (1952), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973), equação do factor de forma constante	$VT = b_1 D^2 H$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.1: Modelos de equações de volume de dupla entrada

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
EV7 Honer (1965), segundo Burkhardt (1977)	$VT = D^2 / (b_0 + b_1 / H)$
EV8 Ogaya (1968), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973)	$VT = D^2 (b_0 + b_1 H)$
EV9 Takata (s.d.), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973)	$VT = D^2 H / (b_0 + b_1 D)$
EV10 Naslung (s.d.), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973)	$VT = b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 DH^2 + b_4 H^2$
EV11 Meyer (s.d.), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973), compreensiva	$VT = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H + b_5 H$
EV12 Meyer (s.d.), segundo Loetsch <i>et al.</i> (1973), modificada	$VT = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H$
EV13 Burkhardt (1977), modificação da equação da variável combinada	$VT = b_0 + b_1 D^{b_2} H^{b_3}$

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.2: Modelos de equações de volume percentual

MOD.	REFERÊNCIA	TIPO	EQUAÇÃO
EVP1	Honer (1967), segundo Cao <i>et al.</i> (1980)	Rh	$(vm/VT - 1) = b_1(h/H - 1) + b_2(h^2/H^2 - 1)$
EVP2	Honer (1967), segundo Cao <i>et al.</i> (1980)	Rd	$VM/VT = b_1 + b_2(d^2/D^2)(1 + hc/H) + b_3[(d^2/D^2)(1 + hc/H)]^2$
EVP3	Burkhardt (1977)	Rd	$VM/vt = 1 + b_1(d^{b_2}/D^{b_3})$
EVP4	Cao <i>et al.</i> (1980) Burkhardt modificada	Rh	$VM/vt = 1 + [b_1(H - h)^{b_2}/H^{b_3}]$
EVP5	Cao <i>et al.</i> (1980), modelo polinomial	Rh	$(vm/VT + z - 1) = b_2(z^2 - z) + b_3(z^3 - z) + b_4(z^4 - z) + b_5(z^5 - z) + b_6(z^6 - z)$
EVP6	Cao <i>et al.</i> (1980), modelo polinomial	Rd	$(vm/VT - 1) = b_1(d/D) + b_2(d/D)^2 + b_3(d/D)^3 + b_4(d/D)^4 + b_5(d/D)^5 + b_6(d/D)^6$
EVP7	Clutter (1980), segundo Clutter <i>et al.</i> (1983)	Rd	$R - I = b_1 d^{b_2} D^{b_3}$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.2: Modelos de equações de volume percentual

(continuação)

MOD.	REFERÊNCIA	TIPO	EQUAÇÃO
EVP8	Matney e Sullivan (1980), segundo Parresol <i>et al.</i> (1987)	Rd	$R = 1 - [1 - \exp(-b_1 \tan(b_2 H^{b_3} (d/D)))]^{b_4}$
EVP9	Matney e Sullivan (1980), segundo Parresol <i>et al.</i> (1987)	Rh	$R = 1 - [1 - \exp(-b_1 \tan(b - 2 H^{b_3} z))]^{b_4}$
EVP10	Deusen <i>et al.</i> (1981) Burkhardt modificada	Rd	$VM/VT = \exp[b_1 (d/D)^{b_2}]$
EVP11	Reed e Green (1984), segundo Tomé (1991)	Rd	$R = 1 + b_1 d^{b_2} / (D^{b_3} H^{b_4})$
EVP12	Reed e Green (1984), segundo Tomé (1991)	Rd	$R = 1 + b_1 (d/D)^{b_2} (b_3 H + b_4)^{b_5}$
EVP13	Reed e Green (1984), segundo Tomé (1991)	Rh	$R = 1 + z^{b_1}$
EVP14	Parresol <i>et al.</i> (1987) Deusen modificada	Rd	$R = \exp[b_1 (d^{b_2} / D^{b_3})]$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.2: Modelos de equações de volume percentual

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	TIPO	EQUAÇÃO
<i>EVP15</i> Parresol <i>et al.</i> (1987)		
Deusen modificada	<i>Rh</i>	$R = \exp(b_1 z^{b_2})$
<i>EVP16</i> Parresol <i>et al.</i> (1987)		
Deusen modificada	<i>Rh</i>	$R = \exp[b_1 (p^{b_2} / H^{b_3})]$

Todas as *EVP's* encontram-se sujeitas à restrição de $R=1$ (ou $vm/VT=Vm/vt=1$ ou $VM/VT=1$) quando $h=H$ ou $d=0$. Os modelos polinomiais apresentados por Cao *et al.* (1980) estão ainda sujeitos a outra restrição: $R=0$ (ou $vm/VT=Vm/vt=0$ ou $VM/VT=0$) quando $h=0$ (Tomé, 1991).

Os modelos 1, 4, 5, 9, 13, 15 e 16 são *EVP's* em função da altura do tronco (tipo *Rh*) e os modelos 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12 e 14 são *EVP's* em função do diâmetro do tronco (tipo *Rd*).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.3: Modelos de equações de perfil do tronco

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
EPT1 Bruce <i>et al.</i> (1968), segundo Byrne e Reed (1986)	$d^2 = D^2 [b_1 x^{1.5} (10^{-1}) + b_2 (x^{1.5} - x^3) D (10^{-2}) + b_3 (x^{1.5} - x^3) H (10^{-3}) +$ $+ b_4 (x^{1.5} - x^{3.2}) H D (10^{-5}) + b_5 (x^{1.5} - x^{3.2}) H^{1/2} (10^3) + b_6 (x^{1.5} - x^{4.0}) H^2 (10^6)]$
EPT2 Kozak <i>et al.</i> (1969)	$d^2 / D^2 = b_1 (h/H - 1) + b_2 (h^2 / H^2 - 1)$
EPT3 Kozak <i>et al.</i> (1969)	$d^2 / D^2 = b_1 (1 - 2h/H + h^2 / H^2)$
EPT4 Ormerod (1971), segundo Parresol <i>et al.</i> (1987)	$d = d_i [(H - h)/(H - i)]^{b_i}$ <p>com, i=altura do diâmetro d_i</p> <p>$d_i = d_i c/c$, se o diâmetro for c/c</p> <p>$d_i = d_i s/c$, se o diâmetro for s/c</p> <p>$d_i s/c = a_0 + a_1 d_i c/c$</p>
EPT5 Bennett e Swindel (1972), segundo Tomé (1991)	$d = b_1 D (H - h)/(H - 1.3) + b_2 (H - h)(h - 1.3) + b_3 H (H - h)(h - 1.3) +$ $+ b_4 (H - h)(h - 1.3)(H + h + 1.3)$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.3: Modelos de equações de perfil do tronco

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
EPT6 Demaerschalk (1972)	$d^2 = b_1 D^2 z^{b_2}$
EPT7 Demaerschalk (1972)	$d = b_1 D^{b_2} (H - h)^{b_3} H^{b_4}$
EPT8 Demaerschalk (1973)	$d^2 / D^2 = b_1 [(H - h)^{b_2} / (D^2 H^{b_2+1})] + b_3 [(H - h)/H]^{b_4}$
EPT9 Demaerschalk (1973)	$d^2 / D^2 = b_1 (H - h)^{b_2} / (b_3 H^{b_2+1} + b_4 H^{b_2})$
EPT10 Ormerod (1973)	$d = D [(H - h)/(H - 1.3)]^{b_1}$
EPT11 Max e Burkhart (1976), segundo Cao <i>et al.</i> (1980)	$d^2 / D^2 = b_1 (h/H - 1) + b_2 (h^2 / H^2 - 1) + b_3 (u_1 - h/H)^2 I_1 + b_4 (u_2 - h/H)^2 I_2$ <p>com, $I_i = 1, h/H \leq 3u_i$ $I_i = 0, h/H > u_i ; i = 1, 2$</p>

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.3: Modelos de equações de perfil do tronco

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
<p><i>EPT12</i> Max e Burkhart (1976), segundo Cao <i>et al.</i></p> <p>(1980)</p>	$d^2 / D^2 = b_1(h/H - 1) + b_2(h^2 / H^2 - 1) + b_3(u_1 - h/H)^2 I_1$ <p>com, $I_1=1, h/H \leq u_1$ $I_1=0, h/H > u_1$</p>
<p><i>EPT13</i> Goulding e Murray (1976), segundo Cao <i>et al.</i></p> <p>(1980)</p>	$(d^2 KH/VT - 2z) = b_1(3z^2 - 2z) + b_2(4z^3 - 2z) + b_3(5z^4 - 2z) + b_4(6z^5 - 2z)$ <p>com, $VT = a_0 + a_1 D^2 H$</p>
<p><i>EPT14</i> Bennett <i>et al.</i> (1978), segundo Parresol <i>et al.</i></p> <p>(1987)</p>	$d = d_i [(H - h)/(H - i)] + b_2 [(H - h)(h - i)/H^2] + b_3 [d_i (H - h)(h - i)/H^2] +$ $+ b_4 [d_i^2 (H - h)(h - i)/H^2] + b_5 [(H - h)(h - i)(2H - h - i)/H^3]$ <p>se $i \leq h \leq H$ com, i=altura do diâmetro d_i $d_i = d_i c/c$, se o diâmetro for c/c $d_i = d_i s/c$, se o diâmetro for s/c $d_i s/c = a_0 + a_1 d_i c/c$</p>

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.3: Modelos de equações de perfil do tronco

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	EQUAÇÃO
EPT15 Cao <i>et al.</i> (1980)	$(d^2 KH/VT - 2z) = b_1(3z^2 - 2z) + b_2(z - u_1)^2 I_1 + b_3(z - u_2)^2 I_2$ <p>com, $I_i=1, z \geq u_i$ $I_i=0, z < u_i; i=1,2$ com, $VT=a_0+a_1D^2H$</p>
EPT16 Biging (1984)	$d = D[b_1 + b_2 \ln(1 - (h/H)^{1/b_3} (1 - \exp(-b_1/b_2)))]$
EPT17 Parresol <i>et al.</i> (1987), cubic-cubic	$d^2 / D^2 = z^2 (b_1 + b_2 z) + (z - u)^2 [b_3 + b_4(z + 2u)]I$ <p>com, $I=1, z \geq u$ $I=0, z < u; i=1,2$</p>

Kozak *et al.* (1969) desenvolveram uma EPT, descrita por um polinómio do 2º grau da altura relativa, a partir da equação da parábola

$$d^2 / D^2 = b_0 + b_1(h - H) + b_2(h^2 / H^2)$$

condicionando aquela função de modo a que $d=0$ quando $h=H$, obteve a EPT2

$$d^2 / D^2 = b_1(h/H - 1) + b_2(h^2 / H^2 - 1).$$

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Este modelo, quando aplicado a algumas espécies, originava estimativas negativas para os diâmetros superiores do tronco (Kozak *et al.*, 1969). Para evitar tal facto, condicionou aquele modelo ainda, a que tivesse uma solução única e igual a 1, obtendo a *EPT3*

$$d^2 / D^2 = b_1(1 - 2h/H + h^2 / H^2).$$

Goulding e Murray (1976), segundo Biging (1984), usaram um polinómio do 5º grau, descrito na *EPT13*.

Sterba (1980), segundo Biging (1984), refere que o ponto fraco dos modelos polinomiais é serem incapazes de caracterizar a porção inferior do tronco de árvores com embasamento. Segundo Biging (1984), uma forma de superar esta limitação é recorrer a modelos polinomiais de graus muito elevados como foi ensaiado por Bruce *et al.* (1968).

Demaerschalk *et al.* (1977) recorreram à junção de 2 equações polinomiais ao nível do ponto de inflexão da curva do perfil de tronco (a cerca de 20-25% da altura total a partir do solo) assegurando a continuidade das equações no ponto de junção. Estas equações, embora com pequenos erros para a base do tronco, estimavam bem os diâmetros superiores do tronco (Biging, 1984).

Max e Burkhart (1976) usaram polinómios segmentados com 2 ou 3 sub-modelos. São exemplos as *EPT's 11* e *12*. A primeira é composta de 3 sub-modelos com 2 pontos de junção, u_1 e u_2 . A segunda é composta de 2 sub-modelos com um ponto de junção em u_1 . Estas *EPT's* descrevem o perfil do tronco sem erro na maior parte das porções do tronco e não requerem especificações acerca de onde ocorrem os pontos de junção (Biging, 1984). Os sub-modelos são usualmente, polinómios do 2º grau e estão condicionados de modo a que estes sejam contínuos no(s) ponto(s) de junção

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

(Byrne e Reed, 1986).

Segundo Byrne e Reed (1986), estas *EPT's* complexas providenciam um melhor ajustamento do perfil do tronco que as *EPT's* simples e singelas, especialmente para a base do tronco (Cao *et al.*, 1980; Martin, 1981, 1984; Amidon, 1984). De facto, é geralmente assumido que o perfil do tronco da árvore não se identifica no seu global com nenhuma forma de sólido geométrica pura, mas pode ser dividido em três secções que se assemelham a três formas geométricas. A bicada aproxima-se à forma de um cone, a secção central (dos toros mercantis) aproxima-se a um parabolóide e a base do tronco a um neiloide (Husch *et al.*, 1982). Daí, as *EPT's* segmentadas ao descrever cada uma das várias secções do tronco com equações separadas melhorarem o ajustamento do perfil do tronco (Byrne e Reed, 1986).

Mais recentemente, segundo Biging (1984), têm-se desenvolvido *EPT's* a partir de funções que descrevem pontos de inflexão, como as funções trigonométricas e os modelos em forma sigmoideal. Este autor desenvolveu uma *EPT* (*EPT16*), baseada na forma integral da função de crescimento de Chapman-Richards, através de apropriada redefinição das variáveis dependente e independente daquela função por forma a descrever a forma do perfil do tronco. Nessa redefinição utilizou a transformação dos dados individuais (d, h), em alturas relativas e diâmetros relativos, já ensaiado por outros autores (p.e. Demaerschalk, 1971, 1972, 1973; Max e Burkhart, 1976) e que consideravam que aquela transformação melhorava o ajustamento dos modelos (visto que eliminava a variância heterogénea dos d_i à medida que h_i variava) (Biging, 1984).

As *EPT's* em geral, não produzem volumes totais idênticos aos originados pelas *EV's* em face do volume da árvore de perfil médio numa dada classe de altura total e de diâmetro à altura do peito

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

(DAP) não ser necessariamente igual ao volume médio das árvores nessa classe (Biging, 1984). Demaerschalk (1971, 1972, 1973) e Munro e Demaerschalk (1974) propuseram que o volume total da árvore obtido por integração matemática de uma *EPT* deveria ser idêntico ao estimado a partir de uma *EV* pré-existente desenvolvendo assim, o conceito de *EPT* compatível (Biging, 1984). Ou seja, os sistemas de predição de volume derivados da integração de uma *EPT* são compatíveis (i.e., matematicamente relacionados) quando os coeficientes das *EV*'s derivadas podem ser escritos em função dos coeficientes das *EPT*'s correspondentes (Byrne e Reed, 1986).

Nesse sentido, Demaerschalk (1972, 1973) desenvolveu as *EPT*'s 7, 8 e 9 a partir de equações de volume pré-existentes, respectivamente, da equação de Schumacher e Hall (1933) (*EV1*), da equação da variável combinada (*EV3*) de Spurr (1952) e da equação de Honer (1965) (*EV8*) (Tomé, 1991).

Cao *et al.* (1980) referem porém, que a restrição imposta à *EPT* para assegurar a sua compatibilidade com a *EV* pode prejudicar a capacidade preditiva dos diâmetros do tronco, devido em parte ao facto de que as *EPT*'s consideradas como compatíveis serem usualmente formuladas com funções simples da altura relativa e portanto não terem a capacidade de descrever tão bem a forma do perfil do tronco. Assim, a confiança e precisão das estimativas do volume a partir de uma *EPT* estão dependentes de quão bem esta se ajusta ao perfil do tronco (Byrne e Reed, 1986).

Segundo Bruce *et al.* (1968), nalguns casos as *EV*'s são obtidas através de um primeiro desenvolvimento de uma *EPT* gerando-se depois a *EV* a partir desta (Clutter *et al.*, 1983). Clutter (1980) inverteu o processo descrito, chamando à atenção de que qualquer *EV* implicitamente define em associação uma *EPT* (Clutter *et al.*, 1983).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Por exemplo, segundo Clutter *et al.* (1983), a partir da seguinte *EVP* (tipo *Rd*):

$$R - I = b_0 d^{b_1} D^{b_2}$$

e cuja *EV* associada é

$$VT = a_0 D^{a_1} H^{a_2}$$

pode ser demonstrado que a *EPT* derivada será

$$d = f_0 D^{f_1} H^{f_2} p^{f_3}, \text{ se explicitarmos } d$$

ou

$$h = H - g_0 d^{g_1} D^{g_2} H^{g_3}, \text{ se explicitarmos } h.$$

Clutter (1980), segundo Lynch (1986), usou princípios geométricos, baseando-se na teoria dos sólidos de revolução, no qual o volume pode ser obtido por integração da área seccional do sólido ao longo do seu comprimento, para derivar a *EPT* a partir da *EVP* (tipo *Rd*). Clutter obteve uma equação diferencial separável, a qual resolvida originava a *EPT*. Esta metodologia foi utilizada por Lynch (1986) e também por Mactague e Bailey (1987).

Matney e Sullivan (1982) obtiveram uma *EPT* para predição de *h*, diferenciando uma *EVP* (tipo *Rd*) (Lynch, 1986).

Deusen *et al.* (1982) desenvolveram um sistema compatível constituído por uma *EV*, uma *EPT* e equações de volume mercantis. A partir da equação de volume mercantil e em função da altura do tronco, estes autores obtiveram uma *EPT* diferenciando aquela em relação a *h* (Lynch, 1986).

Knoebel *et al.* (1984) obtiveram uma *EPT*, equacionando duas *EVP's*, uma de tipo *Rh* e outra de tipo *Rd* (Lynch, 1986).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Reed e Green (1984) desenvolveram diversos sistemas compatíveis constituídos por uma *EV*, uma *EPT* e uma *EVP*. Integrando a *EPT* obteve a *EV* e a equação de volume mercantil em função da altura do tronco. Dividindo esta equação pela *EV* obteve a *EVP* (tipo *Rh*). Os parâmetros do sistema de equações compatíveis eram obtidos por ajustamento estatístico, minimizando a soma dos quadrados dos resíduos para cada uma das equações constituintes do sistema (Lynch, 1986).

O conceito de compatibilidade inicialmente desenvolvido por Demaerschalk (1971, 1972, 1973) para as *EPT* e *EV* encontra-se assim, actualmente alargado desde a derivação de *EPT's* a partir de *EV's*, da derivação de *EPT's* a partir de *EVP's* até à derivação de *EV's*, *EVP's* (do tipo *Rd* e do tipo *Rh*) a partir da *EPT's*. São exemplos, destes últimos sistemas compatíveis derivados de *EPT's*, os apresentados em Byrne e Reed (1986).

Segundo estes autores, o procedimento típico para derivar uma *EV* a partir de uma *EPT* consiste em realizar a integração da expressão da área basal, de zero (nível do solo) até à altura total da árvore (*H*):

$$VT = \int_0^H (\Pi/4)[d(h)]^2 dh$$

onde, *d(h)* representa a função que define a *EPT*. A derivação da *EVP* necessita à priori da derivação de uma equação de volume mercantil (*vm* ou *VM*). No caso da expressão do volume mercantil em função da altura do tronco, ela será obtida de idêntico modo ao da derivação da *EV* mas, resolvendo agora o integral entre zero e a altura do tronco (*h*) pretendida. Para a expressão do volume mercantil em função do diâmetro do tronco (*d*), esta é derivada a partir de redefinição algébrica da *EPT* expressando *h* em termos de *d*, *D* e *H*. Esta expressão para *h* é depois substituída na equação de volume mercantil em função da altura do tronco (*h*), obtendo-se a equação de volume mercantil

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

expressa em termos do diâmetro do tronco (d). A *EVP*, expressa sobre a forma de Rh ou Rd , será obtida através da divisão da respectiva expressão para o volume mercantil pela expressão para o volume total (*EV*).

Outra alternativa para realizar o ajustamento das equações do sistema, é o ajustamento simultâneo das equações segundo um processo de minimização numérica usado e descrito por Reed e Green (1984) (Byrne e Reed, 1986).

Demaerschalk (1973), no desenvolvimento das *EPT's* compatíveis a partir de uma *EV* pré-existente, utilizou um procedimento para assegurar a compatibilidade deste sistema de duas equações, em que os valores da maioria dos parâmetros destas equações eram definidos pela condição de que a integração da *EPT* produzisse exactamente o mesmo volume que a *EV* pré-existente:

$$EV = (\pi/4) \int_0^H d^2 dh .$$

Segundo Demerschalk (1972), existem duas alternativas para o ajustamento compatível destas equações. A partir da *EV* pré-existente obter os parâmetros da *EPT*, de forma a que se verifique a compatibilidade com a *EV*; ou a partir da *EPT* pré-existente substituir na *EV* os parâmetros da *EPT*, de forma a assegurar a compatibilidade com a *EPT*.

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Na tabela que se segue os sistemas de equações compatíveis de predição de volumes apresentados consistirão, sempre que possível, de um conjunto de 4 equações: uma *EPT*, uma *EV* e duas *EVP*'s, uma em função da altura do tronco (tipo *Rh*) e outra em função do diâmetro do tronco (tipo *Rd*). Para simplificação de escrita, a identificação das diversas equações constituintes dos sistemas apresentados serão referenciadas pelas siglas definidas nas tabelas anteriores (Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3).

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

<i>MOD. REFERÊNCIA</i>	<i>SISTEMAS DE EQUAÇÕES</i>
<i>SI</i> Reed e Green (1984), segundo Byrne e Reed (1986)	
<i>EPT6</i>	$d^2 = b_1 D^2 z^{b_2}$ (Demaerschalk, 1972)
<i>EV6</i>	$VT = a_1 D^2 H$ (Spurr, 1952)
	onde, $a_1 = Kb_1 / (b_2 + 1)$
<i>EVP</i> 's derivadas (com $R=vm/VT$)	$Rh = 1 - z^{f_1}$ onde, $f_1 = b_2 + 1$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
	$Rd = 1 + g_1(d/D)^{g_2}$ <p>onde, $g_1 = -b_1^{-(b_2+1)/b_2}$</p> $g_2 = 2[(b_2+1)/b_2]$
S2	<p>Martin (1981) e Green e Reed (1985), segundo Byrne e Reed (1986)</p>
EPT11	$d^2 / D^2 = b_1(h/H - 1) + b_2(h^2 / H^2 - 1) + b_3(u_1 - h/H)^2 I_1 + b_4(u_2 - h/H)^2 I_2$ <p>com, $I_i = 1, h/H \leq u_i$ $I_i = 0, h/H > u_i; i=1,2$</p>
EV6	$VT = a_1 D^2 H$ <p>onde, $a_1 = K[(b_2/3) + (b_1/2) - (b_1 + b_2) + (b_3/3)u_1^3 + (b_4/3)u_2^3]$</p>

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
EVP's derivadas (com $R=vm/VT$)	$Rh = (1/f_1)[(b_2/3)(h/H)^3 + (b_1/2)(h/H)^2 - (b_1+b_2)(h/H) - (b_3/3)((u_1-h/H)^3 I_1 - u_1^3) - (b_4/3)((u_2-h/H)^3 I_2 - u_2^3)]$ <p>onde, $f_1 = (b_2/3)(b_1/2) - (b_1+b_2) + (b_3/3)u_1^3 + (b_4/3)u_2^3$</p> $Rd = (1/f_1)[(b_2/3)(w/H)^3 + (b_1/2)(w/H)^2 - (b_1+b_2)(w/H) - (b_3/3)((u_1-w/H)^3 J_1 - u_1^3) - (b_4/3)((u_1 w/H)^3 J_2 - u_2^3)]$ <p>com, w=altura parcial predicta= $= (H/2A)[-B - (B^2 - 4AC)^{1/2}]$ <p>onde, $A = b_2 + b_3 J_1 + b_4 J_2$ $B = b_1 - 2 u_1 b_3 J_1 + 2 u_2 b_4 J_2$ $C = -(b_1 + b_2) + b_3 u_1^2 J_1 + b_4 u_2^2 J_2 - (d/D)^2$ <p>com, $J_i=1$ se $d \geq M_i$ $J_i=0$ se $d < M_i$; $i=1,2$</p> <p>com, M_i=diâmetro estimado à altura $u_i H$= $= D [b_1 (u_i - 1) + b_2 (u_i^2 - 1) + b_4 (u_2 - u_i^2)^2] 1/2$</p> </p></p>

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
S3 Martin (1981) segundo, Byrne e Reed (1986)	
EPT1	$d^2 = D^2 [b_1 x^{1.5} (10^{-1}) + b_2 (x^{1.5} - x^3) D (10^{-2}) + b_3 (x^{1.5} - x^3) H (10^{-3}) +$ $+ b_4 (x^{1.5} - x^{32}) HD (10^{-5}) + b_5 (x^{1.5} - x^{32}) H^{1/2} (10^{-3}) + b_6 (x^{1.5} - x^{40}) H^2 (10^{-6})]$
EV derivada	$VT = KD^2 H [E_1 H^{1.5} - E_2 H^3 - E_3 H^{32} - E_4 H^{40}]$ <p>onde, $E_1 = [b_1 (10^{-1}) + b_2 D (10^{-2}) + b_3 H (10^{-3}) + b_4 HD (10^{-5}) +$ $+ b_5 H^{1/2} (10^{-3}) + b_6 H^2 (10^{-6})] / [2.5 (H - 1.3)^{1.5}]$ $E_2 = [b_2 D (10^{-2}) + b_3 H (10^{-3})] / [4 (H - 1.3)^3]$ $E_3 = [b_4 HD (10^{-5}) + b_5 H^{1/2} (10^{-3})] / [33 (H - 1.3)^{32}]$ $E_4 = [b_6 H^2 (10^{-6})] / [41 (H - 1.3)^{40}]$</p>
EVP's derivadas (com $R=vm/VT$)	$Rh = 1 - [(E_1 (H - h)^{2.5} - E_2 (H - h)^4 - E_3 (H - h)^{33}) - E_4 (H - h)^{41}] / (E_1 H^{2.5} -$ $- E_2 H^4 - E_3 H^{33} - E_4 H^{41})]$
	Rd não é possível derivá-la algebricamente

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
S4 Byrne e Reed (1986)	
EPT15	$(d^2 KH/VT - 2z) = b_1(3z^2 - 2z) + b_2(z - u_1)^2 I_1 + b_3(z - u_2)^2 I_2$ <p>com, $I_i=1, z \geq u_i$ $I_i=0, z < u_i; i=1,2$</p>
EV6	$VT = a_1[1 + (b_2/3)(1 - u_1)^3 + (b_3/3)(1 - u_2)^3] D^2 H$
EVP's derivadas	$Rh = (1/f_1)[1 + (b_1 - 1)z^2 - b_1z^3 - (b_2/3)((z - u_1)^3 I_1 - (1 - u_1)^3) - (b_3/3)((z - u_2)^3 I_2 - (1 - u_2)^3)]$ <p>onde, $f_1 = 1 + (b_2/3)(1 - u_1)^3 + (b_3/3)(1 - u_2)^3$</p> $Rd = (1/f_1)[1 + (b_1 - 1)w^2 - b_1w^3 - (b_2/3)((w - u_1)^3 I_1 - (1 - u_1)^3) - (b_3/3)((w - u_2)^3 I_2 - (1 - u_2)^3)]$ <p>com, $w = \text{altura parcial predicta} =$ $= [-B + \sqrt{B^2 - 4AC}] / 2A$ <p>onde, $A = (a_1/K)(3b_1 + b_2J_1 + b_3J_2)$ $B = (2a_1/K)(1 - b_1 - u_1b_2J_1 + u_2b_3J_2)$ $C = (a_1/K)(u_1^2b_2J_1 + u_2^2b_3J_2) - (d^2/D^2)$ <p>com, $J_i=1$ se $d \geq M_i$ $J_i=0$ se $d < M_i; i=1,2$</p> </p></p>

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
	com, M_i =diâmetro estimado à altura $u_i H$ = $= D [b_1 (u_i - 1) + b_2 (u_i^2 - 1) + b_4 (u_2 - u_i^2)^2] / 2$
S5	Byrne e Reed (1986), sistema baseado nas formas geométricas do tronco
EPT segmentada	$d = Dx^b$ condicionada a que: $b = (3/2) - (h/H) / u_1 - [1 - ((h/H) / u_1)] I_1 + (1/2) [(h/H) - u_1] / (1 - u_1) I_1$ com, $I_1=1$ se $h/H \geq u_1$ $I_1=1$ se $h/H < u_1$
EV	derivação apenas possível por integração numérica
EVP's derivadas	derivação de Rh apenas possível por integração numérica não possível a derivação algébrica de Rd

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
S6	Demaerschalk (1973) e Reed e Green (1984), segundo Tomé (1991)
EVI	$VT = a_1 D^{a_2} H^{a_3}$ (Schumacher e Hall, 1933)
EPT7	$d = b_1 D^{b_2} (H - h)^{b_3} H^{b_4}$ onde, $b_1 = [a_1 m a_3 / (\Pi / 40000)]$ $b_2 = a_2 / 2$ $b_3 = (m a_3 - 1) / 2$ $b_4 = (1 - m) a_3 / 2$ m é um parâmetro livre
EVP13	Rh $R = 1 + z^{f_1}$
EVP11	Rd $R = 1 + g_1 d^{g_2} / (D^{g_3} H^{g_4})$ com, $f_1 = 2b_3 + 1$ $g_1 = -b_1^{-[2b_3+1]/b_3}$ $g_2 = (2b_3 + 1) / b_3$ $g_3 = b_2(2b_3 + 1) / b_3$ $g_4 = 2b_3 + 1 + (b_4 / b_3)(2b_3 + 1)$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
S7	Demaerschalk (1973) e Reed e Green (1984), segundo Tomé (1991)
EV7	$VT = D^2 / (a_1 + a_2 / H)$ (Honer, 1965)
EPT9	$d^2 / D^2 = b_1 (H - h)^{b_2} / (b_3 H^{b_2+1} + b_4 H^{b_2})$ onde, $b_1 = (m + 1) / (\Pi / 40000)$ $b_2 = m$ $b_3 = a_1$ $b_4 = a_2$ m é um parâmetro livre
EVP13	Rh $R = 1 + z^{f_1}$
EVP12	Rd $R = 1 + g_1 (d/D)^{g_2} (g_3 H + g_4)^{g_5}$ com, $f_1 = b_2 + 1$ $g_1 = -b_1^{-(b_2+1)/b_2}$ $g_5 = (b_2 + 1) / b_2$ $g_2 = 2(b_2 + 1) / b_2$ $g_3 = b_3$ $g_4 = b_4$

/.../

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

TABELA 2.4: Modelos de sistemas de equações compatíveis

(continuação)

MOD. REFERÊNCIA	SISTEMAS DE EQUAÇÕES
S8	Demaerschalk (1973), segundo Tomé (1991)
EV3	$VT = a_0 + a_1 D^2 H$ (Spurr, 1952)
EPT8	$d^2 / D^2 = b_1 [(H - h)^{b_2} / D^{H^{b_2+1}}] + b_3 [(H - h)/H]^{b_4}$ onde, $b_1 = a_0(m_1 + 1) / (\Pi/40000)$ $b_2 = m_1$ $b_3 = a_1(m_2 + 1) / (\Pi/40000)$ $b_4 = m_2$ m_1 e m_2 são parâmetros livres

O sistema S1 é baseado na EPT6 desenvolvida por Demaerschalk (1972) que é compatível com a EV6 de Spurr (1952) (equação do factor de forma constante). Reed e Green (1984) derivaram as EVP's compatíveis a esta EPT (Byrne e Reed, 1986). O sistema S2 é baseado na EPT12 de Max e Burkhardt (1976), uma EPT segmentada. Martin (1981) descreve a EV compatível com esta EPT e Green e Reed (1985) descrevem as EVP's (expressas em termos de Rd e Rh) que lhe são compatíveis (Byrne e Reed, 1986).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

O sistema *S3* é baseado numa *EPT* singela, a *EPT1* de Bruce *et al.* (1968), um modelo polinomial de grau elevado. Martin (1981) definiu as equações de volume total (*EV*) e de volume mercantil em função da altura do tronco. Byrne e Reed (1986) definiram a equação de volume mercantil em termos de *EVP* (tipo *Rh*). A *EVP* expressa sob a forma de *Rd* não é possível derivá-la algebricamente (Byrne e Reed, 1986). O sistema *S4* foi desenvolvido por Byrne e Reed (1986) e é baseado na *EPT15* de Cao *et al.* (1980), uma *EPT* segmentada, com dois pontos de junção. O sistema *S5* foi desenvolvido também por Byrne e Reed (1986), baseando-se nas formas geométricas usualmente aceites para descrever o perfil do tronco (neiloide, parabolóide e cone, respectivamente, para a base, secção intermédia e bicada). Assim, recorrendo à formula geral destes sólidos (uma função potencial simples), que na prática, se identifica com a *EPT10* de Ormerod (1973) se redefinirmos as variáveis daquela função

$$d = D[(H - h)/(H - 1.3)]^b .$$

Uma nova *EPT* segmentada em duas foi criada, de acordo com a forma genérica da *EPT10*, para definir as três secções genéricas do perfil. Assim, esta *EPT* segmentada está condicionada a que o valor de *b*, seja de 3/2 na base (neiloide) e decresça linearmente à medida que a razão *h/H* aumenta, para 1/2 (parabolóide) no ponto de junção *u₁* e depois cresça linearmente de 1/2 para 1 (cone) até ao topo da árvore. O ajustamento por regressão do ponto de junção *u₁* otimizará o ajustamento à forma do tronco. Infelizmente, esta *EPT* segmentada não pode ser integrada a uma forma exacta e assim, a derivação da *EV* e *EVP's* deverá ser realizada por integração numérica. Para além do mais, não se torna algebricamente possível obter a *EVP* expressa em termos de *Rd* (Byrne e Reed, 1986).

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Os sistemas *S6*, *S7* e *S8* correspondem aos sistemas de *EPT's* compatíveis com *EV's* pré-existentes desenvolvidos por Demaerschalk (1971, 1972, 1973). Reed e Green (1984), segundo Byrne e Reed (1986), desenvolveram as *EVP's* agregadas aos sistemas *S6* e *S7*. Nos sistemas *S6*, *S7* e *S8* introduziram-se as restrições algébricas aos parâmetros das *EPT's* a partir das *EV's* pré-existentes de forma a que estas *EPT's* fossem compatíveis. Segundo Tomé (1991), os parâmetros não definidos, chamados parâmetros livres, podem ser determinados através do método dos mínimos quadrados (e.g. regressão não linear). Nos sistemas *S6* e *S7* para assegurar a compatibilidade das *EVP's* com as *EPT's* respectivas, consideraram-se restrições adicionais que afectam os coeficientes das *EVP's*.

2.2. ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MODELOS APRESENTADOS

Tomé (1991), num estudo em *Eucalyptus globulus* Labill. para Portugal, avaliou diversos modelos de *EV's*, *EVP's*, *EPT's* assim como, diversos sistemas compatíveis constituídos por aqueles. No caso das *EV's*, para além dos modelos vulgarmente referidos em bibliografia, testou também todos os modelos com ordenada na origem referentes às combinações lineares de

$$VT = f(D, H, D^2, H^2, DH, D^2 H, DH^2, D^2 H^2).$$

Desta análise, para dados *c/c* e dados *s/c*, resultou a selecção da *EVI* (Schumacher e Hall, 1933) assim como, de uma das equações originadas por estas combinações lineares:

$$VT = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 DH^2.$$

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.
SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Para o caso das *EVP's*, para além dos modelos vulgarmente referidos em bibliografia, testou também os sub-modelos dos modelos polinomiais referidos em Cao *et al.* (1980) (de tipo *Rh* e *Rd*, respectivamente, *EPV5* e *EPV6*):

$$Rh \quad R - I + z = f(z^2 - z, z^3 - z, z^4 - z, z^5 - z, z^6 - z)$$

$$Rd \quad (R - I) = f(d/D, (d/D)^2, (d/D)^3, (d/D)^4, (d/D)^5, (d/D)^6)$$

sujeitos às restrições:

$$R=1, \text{ quando } h=H \text{ ou } d=0$$

$$R=0, \text{ quando } h=0.$$

Da análise, para dados *c/c* e dados *s/c*, resultou a selecção das seguintes *EVP's*:

1- na forma de *Rd*, a *EVP10* (Deusen *et al.*, 1981), seguindo-se o sub-modelo:

$$R - I = b_1(d/D)^3 + b_2(d/D)^6.$$

2- na forma de *Rh*, a *EVP4* (Cao *et al.*, 1980), seguindo-se o sub-modelo:

$$R + I - z = b_1(z^2 - z) + b_2(z^5 - z) \quad \text{dados } s/c.$$

No caso das *EPT's* este autor seleccionou como melhores modelos, para os dados *s/c* a *EPT8* (Demaerschalk, 1973) e a *EPT16* (Biging, 1984), esta última superior do ponto de vista biológico, e para os dados *c/c* a *EPT8*.

Finalmente, para os sistemas de equações compatíveis, o autor testou apenas os sistemas *S6*, *S7* e *S8* e comparou as suas performances na estimativa simultânea de diâmetros, volumes mercantis e volume total, com o comportamento individual de alguns modelos de *EPT's*, *EVP's* e *EV's*.

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Esta análise levou o autor a concluir que, à partida, só deverá ser considerada a utilização de sistemas quando as equações componentes forem aceitáveis e caso se pretenda uma estimação simultânea do volume total, volumes mercantis e de diâmetros, dado que existem modelos que estimam cada uma das variáveis *per si* com mais eficiência. Observou também, uma certa consistência nos resultados para os dados *c/c* e *s/c* (Tomé, 1991).

Da análise específica dos sistemas testados, o autor conclui ser o *s6* o melhor para dados *s/c* e o *s8* o melhor para dados *c/c*. A selecção destes dois sistemas reflecte a influência da boa performance da *EVI* para o primeiro sistema e da boa performance da *EPT8* para o segundo sistema trazendo em consequência, respectivamente, bons comportamentos destes sistemas na estimativa do volume total para o *s6* e dos diâmetros e volumes mercantis para o *s8*. Em contrapartida, o sistema *s6* encontra o seu ponto fraco na estimativa destas últimas variáveis (devido à fraca performance da *EPT7*, sua constituinte) e o *s8* na estimativa do volume total (devido à fraca performance da *EV3*, sua constituinte).

Cao *et al.* (1980) testaram diversas *EVP's* e *EPT's*, para plantações e povoamentos naturais de *Pinus taeda* L. nos Estados Unidos da América, verificando que não existe um único modelo que se possa considerar o melhor de todos para a predição de volumes mercantis segundo limites de despona variável, sejam eles diâmetros do tronco sejam alturas do tronco, e simultaneamente para a reconstituição do perfil do tronco da árvore individual. Sugerem os autores que, caso se pretenda apenas um único modelo, se escolha uma *EPT* de boa performance que quando integrada produza também estimativas razoáveis para os volumes quer a diferentes limites de despona segundo diâmetros do tronco quer segundo alturas do tronco.

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Observaram também, que alguma precisão é aparentemente sacrificada na estimativa dos diâmetros para a reconstituição do perfil do tronco através das *EPT's* para assegurar que esta seja compatível. Referem assim, que o recurso a uma *EPT* compatível para a descrição do perfil do tronco não é uma boa escolha na medida em que existem outros modelos, como os polinómios segmentados, que estimam os diâmetros a níveis superiores do tronco com maior precisão. O recurso a *EPT's* constituídas por vários sub-modelos melhora a predição do perfil do tronco no entanto, relativamente à predição de volumes para diversas alturas do tronco este tipo de modelo ficou em 5º lugar dos 9 modelos testados. Os modelos seleccionados por estes autores foram:

- (*EVP3, EVP4*) e (*EVP5, EVP6*), dois conjuntos de *EVP's* que proporcionam ambas boas estimativas do volume sendo por isso, recomendadas para estimar volumes mercantis a várias alturas ou diâmetros de despona, devendo optar-se pelo conjunto (*EVP3, EVP4*) quando a altura do cepo for constante e pelo conjunto (*EVP5, EVP6*) caso os dados apresentem variabilidade na altura do cepo praticada;

- *EPT12*, para a descrição do perfil do tronco;

- *EPT16*, caso se pretenda um modelo multi-uso (estimativa simultânea de diâmetros do tronco e de volumes) é um modelo razoável para o objectivo pretendido.

Pensam os autores, que os modelos seleccionados naquele estudo se comportarão razoavelmente bem para outras espécies de resinosas.

2. MODELOS DE PREDIÇÃO DE VOLUMES DA ÁRVORE INDIVIDUAL.

SISTEMAS DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

Biging (1984) avaliou a sua *EPT* derivada da função de crescimento de Richards-Chapman (*EPT16*) com o modelo polinomial segmentado de Max e Burkhart (1976) (*EPT12*), para povoamentos mistos de coníferas no Norte da Califórnia, Estados Unidos da América, verificando uma capacidade preditiva semelhante quer ao nível da reconstituição do perfil do tronco, quer na estimativa de volumes parciais por integração, quer na estimativa do volume total da árvore relativamente a uma *EV* pré-existente (*EVI*). Esta análise levou-o a considerar o seu modelo mais favorável, na medida em que se tratava de um modelo mais simples (modelo sigmoidal de 2 parâmetros) relativamente ao modelo polinomial segmentado (de 6 parâmetros).

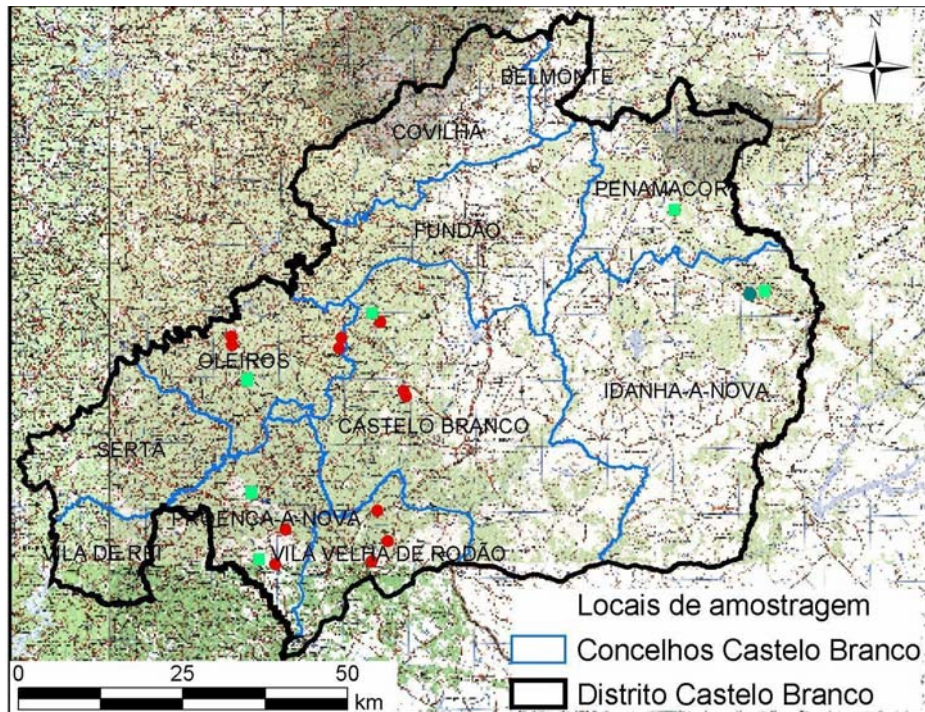
Byrne e Reed (1986), relativamente aos sistemas de predição de volume compatíveis derivados a partir de *EPT's* complexas, como são exemplo as *EPT's* segmentadas, referem que ainda não existe uma avaliação de se estes sistemas também se comportam melhor comparativamente com os sistemas derivados de *EPT's* mais simples e singelas. No entanto, no estudo por estes autores realizado, para plantações de *Pinus resinosa* e *Pinus taeda* nos Estados Unidos da América, onde cinco sistemas de equações de predição do perfil do tronco e volumes da árvore foram testados (*S1*, *S2*, *S3*, *S4* e *S5*), foi seleccionado como melhor aquele que era derivado de uma *EPT* segmentada (*S4*). Os sistemas *S2* e *S5* são igualmente derivados de *EPT's* segmentadas. Da ordenação dos sistemas, relativamente ao seu ajustamento e capacidade preditiva do volume total, volumes parciais e perfil do tronco, os melhores modelos foram *S4* e *S2*, os piores foram *S1* e *S5* e de características intermédias encontra-se o *S3*. Assim, parece que o factor primordial na boa performance de um sistema estará mais dependente de quão bem a *EPT*, a partir da qual é derivado o sistema, descreve o perfil do tronco.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo dar-se-ão detalhes dos métodos de amostragem e análise para o ajustamento e selecção dos diversos modelos matemáticos a testar: *EV's*, *EVP's* e *EPT's* assim como, do sistema de equações compatíveis constituído pela *EPT* eleita como a melhor.

3.1. ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DOS LOCAIS AMOSTRADOS

Os dados utilizados neste trabalho, no ajustamento e validação dos modelos matemáticos, foram recolhidos em diversos povoamentos de pinheiro bravo do distrito de Castelo Branco embora, com maior incidência na zona do pinhal, e ao longo de três períodos de tempo distintos. A localização dos locais de amostra podem ser visualizados na figura 3.1.



- Legenda:
- PER.I-Abr-Mar 87
 - PER.II-Fev-Mar 89
 - PER.III-Jul-Dez 89

FIGURA 3.1: Localização dos locais de amostragem (Carta Hipsométrica da Comissão Nacional do Ambiente, 1982).

Na tabela que se apresenta em seguida podemos observar a intensidade de amostragem ocorrida por concelho e local para a recolha de dados em árvores abatidas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

TABELA 3.1: Locais amostrados, nº de árvores abatidas e nº de observações (pares de valores (d,h))

MÊS e ANO	CONCELHO: LOCAIS	NºÁRV.	NºOBS.
<i>Abr-Mar 87</i>			
	<i>IDANHA-A-NOVA: Penha Garcia</i> <i>(Ex. Mata Nacional de P.Garcia)</i>	31	195
<i>Sub-total</i>		31	195
<i>Fev-Mar 89</i>			
	<i>CASTELO BRANCO: Almaceda</i>	7	70
	<i>OLEIROS: Oleiros</i>	9	91
	<i>PENAMACOR: Penamacor</i>	10	85
	<i>IDANHA-A-NOVA: Penha Garcia</i>	7	47
	<i>PROENÇA-A-NOVA: Proença-a-Nova</i> <i>S.Pedro do Esteval</i>	7	61
		7	56
<i>Sub-total</i>		47	410
<i>Jul-Dez 89</i>			
	<i>OLEIROS: Barroca da Sobreira</i>	6	49
	<i>Silvosa</i>	5	37
	<i>Sendinho da Senhora1</i>	5	47
	<i>Sendinho da Senhora2</i>	7	57

/.../

3. MATERIAL E MÉTODOS

TABELA 3.1: Locais amostrados, nº de árvores abatidas e nº de observações (pares de valores (d,h))

(continuação)

MÊS e ANO	CONCELHO: LOCAIS	NºÁRV. NºOBS.	
	CASTELO BRANCO: <i>Almaceda</i>	2	15
	<i>Feiteira1</i>	4	35
	<i>Feiteira2</i>	8	67
	PROENÇA-A-NOVA: <i>Pedra do Altar</i>	7	44
	<i>Freixoeirinho</i>	2	17
	VILA VELHA RODÃO: <i>Minas Ingadanais</i>	5	39
	<i>Rodeios</i>	10	83
	<i>Atalaia</i>	7	69
<i>Sub-total</i>		68	559
TOTAIS		146	1164

3.2. CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM UTILIZADOS

Os dados recolhidos, no período de Abril-Março de 1987, são provenientes de uma estreita faixa de pinheiro bravo na Ex. Mata Nacional de Penha Garcia, onde a selecção das 31 árvores abatidas foi realizada segundo as classes de frequência de *DAP* (*c/c*) existentes nessa faixa. A toragem foi realizada de 2.2 m em 2.2 m, cepo a 0.15 m e despona a 7 cm *c/c*.

TABELA 3.2: *Seleção das árvores abatidas no período de Abril-Março de 1987*

<i>Classe de DAPc/c</i>	<i>Freq. faixa</i>	<i>Árvores abatidas</i>
10	355	15
15	360	9
20	182	6
25	43	1
30	8	0
<hr/>		
<i>DAPc/c</i> ≤ 7.5 cm	44	
<hr/>		
<i>Total</i>	992	31

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados recolhidos, no período de Fevereiro-Março de 1989, foram obtidos em pinhal privado que se encontrava de momento a corte. A selecção das 47 árvores a abater foi realizada por forma a tentar abranger uma ampla gama de *DAP's c/c* e alturas totais embora, nem sempre tal fosse possível, dado nalguns casos não se tratar de cortes rasos mas sim de desbastes pelo alto ou selectivos. A toragem foi realizada de 2 m em 2 m com excepção para o local Penha Garcia em que foi realizada de 2.2 m em 2.2 m. O cepo realizou-se a 0.15 m e a despona a 7 cm *c/c*.

Os dados recolhidos, no período de Julho-Dezembro de 1989, foram obtidos em pinhal privado a corte, essencialmente cortes de exploração e apenas alguns desbastes. A selecção das 68 árvores a abater foi realizada segundo uma distribuição por classes de *DAP c/c* e de acordo com a sua representatividade mas, tendo sempre em atenção que todas as classes de *DAP c/c* ocorrentes no local de abate ficassem representadas. A toragem foi realizada segundo aquela que era praticada no local pelo empresário florestal: toros de 2.0 m ou 2.1 m ou 2.2 m ou 2.5 m ou 2.6 m, com o cepo variável entre 0.05 m e 1.1 m, e despona variável. Paralelamente à toragem foram recolhidas rodela de lenho ao longo do tronco, com vista à aplicação do método de análise de tronco. Assim, após o abate da árvore realizava-se o toro segundo a toragem em questão e após o qual se procedia no tronco o corte da rodela de lenho (de cerca de 5 cm de espessura). Seguidamente realizava-se novo toro do comprimento comercial em questão e novo corte de rodela de lenho no tronco e assim sucessivamente, até à despona onde se lhe cortava a última rodela de lenho. Este foi o procedimento utilizado para evitar que o corte das rodela de lenho afectassem o comprimento comercial dos toros.

Todos os dados recolhidos foram obtidos medindo os diâmetros até aos mm e as alturas até aos dm.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS RECOLHIDOS

No conjunto dos dados que dispomos, 146 árvores abatidas, para o ajustamento e validação dos modelos, amostraram-se árvores com *DAP's c/c* compreendidos entre os 6.5 cm e os 47.6 cm e alturas totais compreendidas entre os 6.4 m e os 24.1 m. Na tabela 3.3 apresentam-se os valores mínimos e máximos, valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação, para as variáveis *DAP c/c* e altura total, em cada período de amostragem e no conjunto dos dados.

TABELA 3.3: Valores mínimos, máximos, média, desvio padrão e coeficiente de variação para as variáveis *DAPc/c* e altura total

PERÍODO	MIN.	MÁX.	MÉD.	DP.	CV.(%)	MIN.	MÁX.	MED.	DP.	CV(%)
	VARIÁVEL <i>DAPc/c</i> (cm)					VARIÁVEL ALTURA TOTAL (m)				
PER.I	7.8	24.0	14.2	4.2	29.2	7.8	12.0	10.2	1.0	10.6
PER.II	8.1	43.2	22.2	10.2	45.9	6.4	24.1	13.6	4.9	36.3
PER.III	6.5	47.6	24.5	7.8	31.9	8.0	18.6	14.1	2.6	18.4
GLOBAL	6.5	47.6	21.7	9.0	41.6	6.4	24.1	13.1	3.7	27.9

No período I (de Abril a Março de 1987) a amplitude de amostragem foi a mais restrita, tendo-se amostrado árvores de pequena a média dimensões.

3. MATERIAL E MÉTODOS

No período II (de Fevereiro a Março de 1989) a amostragem denota o esforço de ter em conta o critério de seleccionar as árvores segundo a gama de variabilidade de alturas totais e *DAP's c/c* ocorrentes nos vários locais de amostragem. A amplitude da variável altura total foi a mais ampla dos 3 períodos.

No período III (de Julho a Dezembro de 1989), dado a selecção das árvores se ter realizado de acordo com a representatividade das várias classes de *DAP c/c* ocorridas e de modo a que todas as classes ficassem representadas, temos uma amostragem de *DAP's c/c* bastante ampla. Relativamente às alturas totais, uma forte representatividade de alturas dos 14 aos 16 metros denota o facto da amostragem ter recaído essencialmente em povoamentos a corte final.

Assim, no global dos dados, para a variável *DAP c/c* a maior representatividade verifica-se para valores entre]10-15] cm (29%) e]25-30] cm (18%) e para a variável altura total para valores entre]8-10] m (22%) e]14-16] m (23%).

Em seguida, iremos dar uma ideia da amplitude dos dados no seu conjunto e por período, quanto às variáveis: altura do cepo, toragem praticada, diâmetro mercantil ou de desponta (*c/c*), altura mercantil ou de desponta, comprimento do toro de desponta ou bicada e ainda informação se os dados recolhidos se realizaram sobre casca ou não. Esta informação encontra-se sintetizada na tabela 3.4.

3. MATERIAL E MÉTODOS

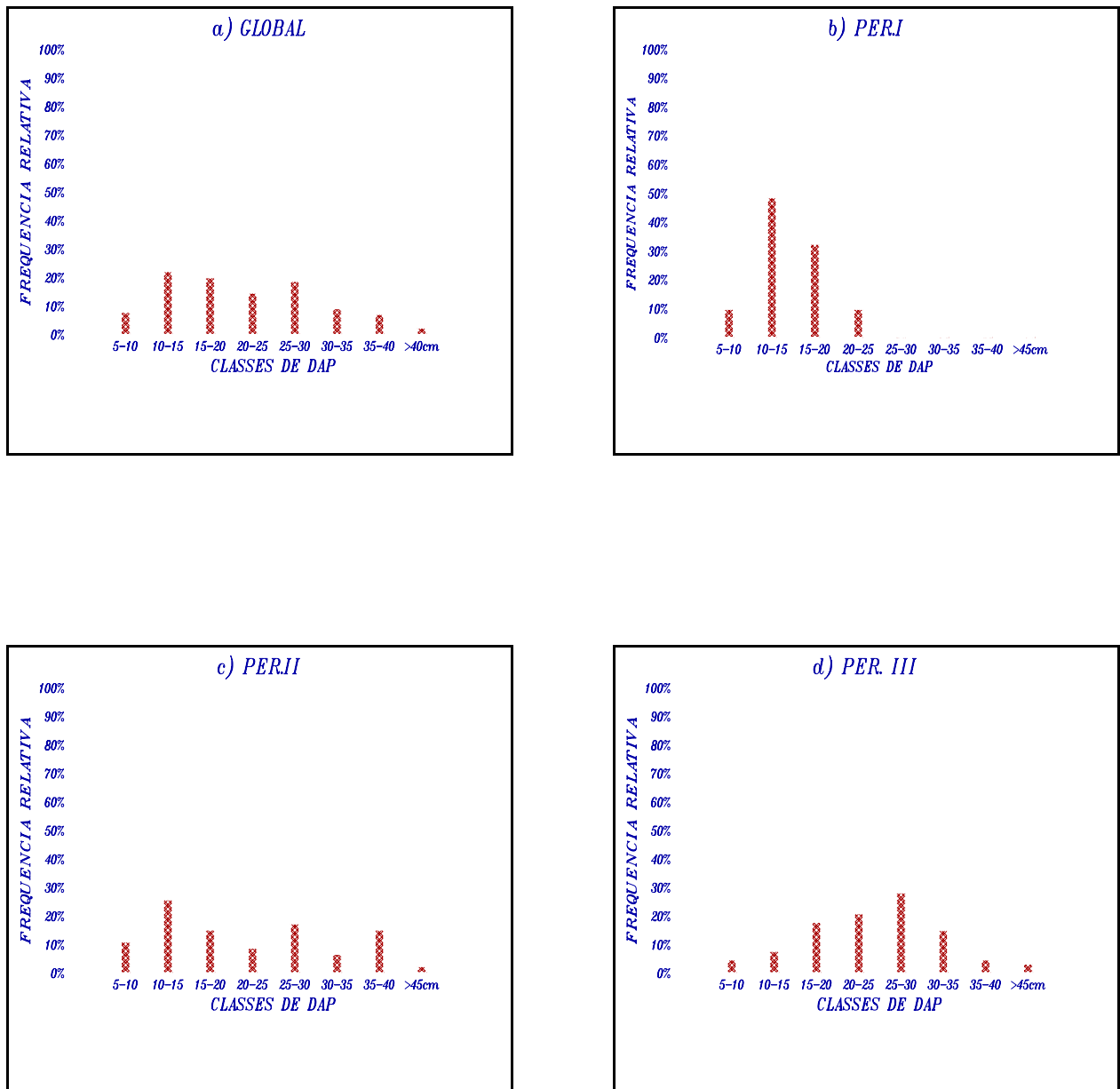


FIGURA 3.2: Histogramas de frequências relativas - DAP c/c (cm): a) GLOBAL; b) PER.I.; c) PER.II;

d) PER.III.

3. MATERIAL E MÉTODOS

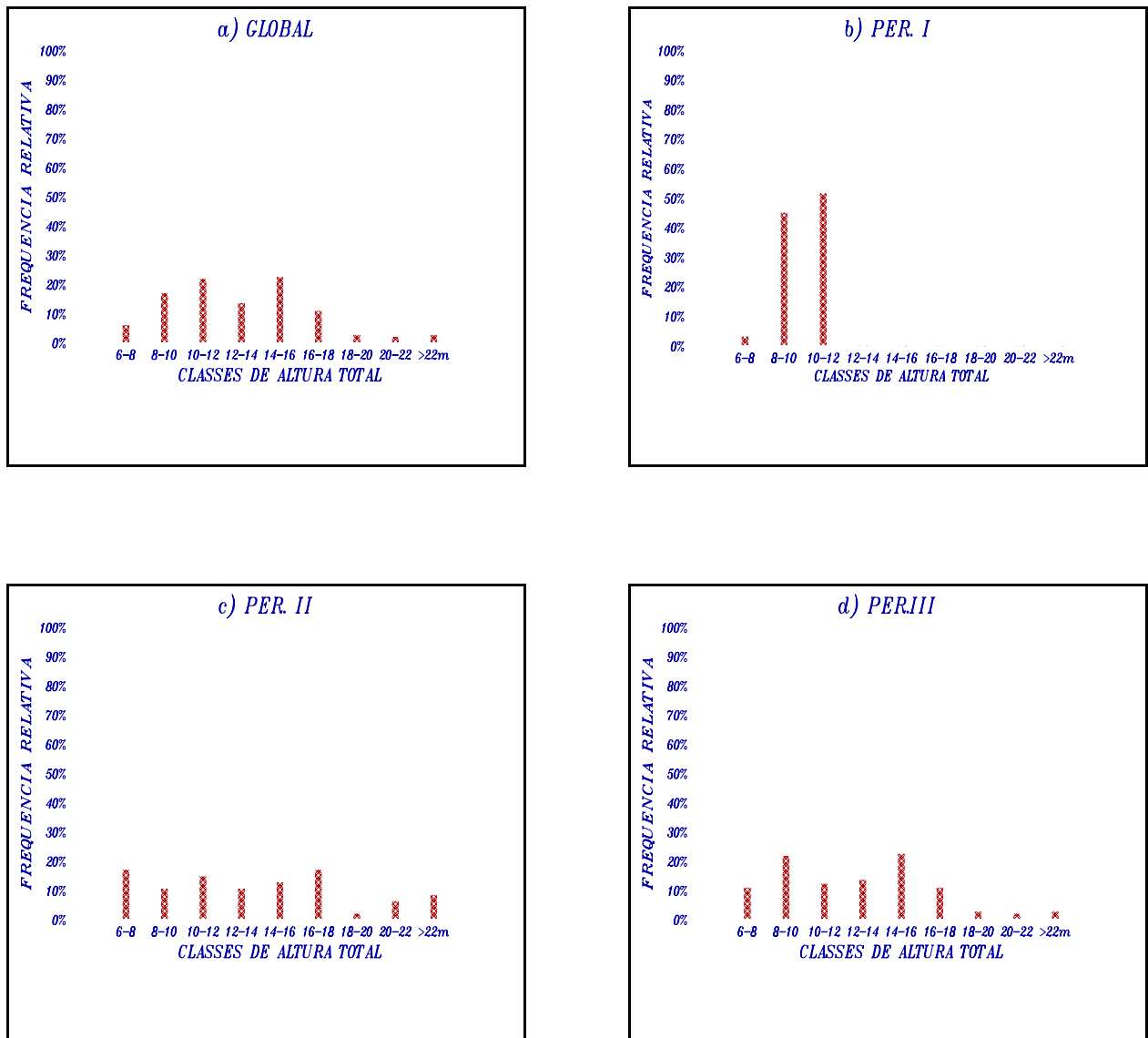


FIGURA 3.3: Histogramas de frequências relativas - Altura total (m): a) GLOBAL; b) PER.I.; c) PER.II;

d) PER.III.

3. MATERIAL E MÉTODOS

TABELA 3.4: Amplitude dos dados para as variáveis altura do cepo, toragem, diâmetro mercantil c/c, altura mercantil e bicada

PER.	Nº	ALT. CEPO (m)	TORAGEM (m)	DIAM. MERC. (cm)	ALT. MERC. (m)	BIC. (m)
					<i>variável</i>	<i>variável</i>
I	31	0.15	2.2	7c/c	[2-9.55]	[1.7-6.7]
DADOS COM CASCA						
					<i>variável</i>	<i>variável</i>
II	47	0.15	2 e 2.2	7c/c	[2.35-21.7]	[0.1-5.4]
DADOS COM CASCA						
		<i>variável</i>	<i>variável</i>	<i>variável</i>	<i>variável</i>	<i>variável</i>
III	68	[0.05-1.1]	[2.02-2.66]	[3.3-21]	[4.36-17.1]	[0.77-5]
DADOS COM CASCA E SEM CASCA						
GLOBAL						
	146	[0.05-1.1]	[2-2.66]	[3.3-21]	[2-21.72]	[0.1-6.7]

A altura do cepo, no conjunto dos dados, encontra-se representada dos 0.05 m aos 1.1 m no entanto, as alturas de corte mais frequentes ocorreram a 0.05 m e a 0.15 m, denotando a contribuição, respectivamente, dos dados do PER.III (63% dos cepos a 0.05 m) e dos PER.I e II (com os cepos a 0.15 m).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A toragem praticada, no conjunto dos dados, encontra-se representada com toros de dimensões entre os 2.0 m e os 2.66 m. As toragens mais frequentes foram de 2.2 m em 2.2 m (100% das situações do PER.I e 15% das situações do PER.II) e de 2.1 m em 2.1 m (50% das situações do PER.III).

O diâmetro mercantil *c/c*, no conjunto dos dados, encontra-se representado entre os 3.3 cm e os 21 cm. A desponta mais frequente ocorre aos 7 cm *c/c*, em consequência da contribuição dos PER.I e II. A contribuição de PER.III, de desponta variável, apresenta-se diluída.

A altura mercantil, no global dos dados, ficou representada entre os 2.0 m e os 21.7 m. A contribuição relativa dos vários períodos de recolha de dados segue a mesma tendência da variável altura total, atrás já referida.

O comprimento do toro da desponta (bicada), no conjunto dos dados, encontra-se representado dos 0.1 m aos 6.7 m. Bicadas entre os 2-3 m foram as mais frequentes.

3.4. AJUSTAMENTO DOS MODELOS. CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS UTILIZADOS NA SELECÇÃO DOS MODELOS

No ajustamento dos modelos utilizou-se a técnica da análise de regressão com o objectivo de seleccionar de entre os vários modelos apresentados para cada tipo de equações e sistemas de equações compatíveis, aqueles que melhor predizem os volumes totais, volumes parciais e perfil do tronco para a espécie e região em estudo.

A análise de regressão passa pelas seguintes fases:

FASE 1: Obtenção da amostra (dados);

FASE 2: Selecção dos modelos candidatos (tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4);

FASE 3: Ajustamento dos modelos;

FASE 4: Estudo dos modelos;

FASE 5: Selecção do melhor modelo.

FIGURA 3.4: *Diagrama das fases da análise de regressão*

Segundo Myers (1986), para se proceder à selecção do "melhor" modelo (*FASE 5*), deve realizar-se um estudo pormenorizado de cada um dos modelos ajustados através da análise dos critérios "standard" para a determinação das suas performances. Assim, após se proceder ao ajustamento dos modelos dever-se-á realizar a validação dos modelos. De acordo com este autor, para se proceder à validação dos modelos, a *BASE DE DADOS* deverá ser sub-dividida em dois sub-conjuntos, de forma a obter ficheiros independentes para o ajustamento dos modelos (*FASE DE AJUSTAMENTO*) e para a sua posterior validação (*FASE DE VALIDAÇÃO*). Por esta razão, denomina-se de validação independente ou validação cruzada.

Para o estudo dos modelos em questão (*FASE 4*) durante a *FASE DE AJUSTAMENTO*, dentro de cada tipo de equações consideradas (*EV'S*, *EVP'S* e *EPT'S*), procedeu-se ao cálculo de diversas medidas de ajustamento dos modelos, de diversas medidas da capacidade preditiva dos modelos, do estudo da colinearidade entre os preditores dos modelos e à análise de resíduos do modelo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As estatísticas consideradas na avaliação da qualidade de ajustamento e predição dos modelos foram as seguintes:

- *coeficiente de determinação da regressão (R^2)*, medida da capacidade de ajustamento dos modelos (Myers, 1986) e definido como

$$R^2 = 1 - (SQR/SQT)$$

onde, SQR = soma dos quadrados dos resíduos;

SQT = soma dos quadrados total.

- *coeficiente de determinação ajustado (R^2AJ)*, medida da capacidade de ajustamento dos modelos dando também, uma ideia da capacidade preditiva dos modelos (Myers, 1986) e definido como

$$R^2 AJ = 1 - [(SQR/(n - p))/(SQT)/(n - 1)] = 1 - (QMR/QMT)$$

onde, n = nº de observações;

$p = k + 1$, nº de parâmetros do modelo, i.e. nº de variáveis independentes (X_i 's) mais um;

$n - p$ = nº de graus de liberdade;

QMR = quadrado médio dos resíduos;

QMT = quadrado médio total.

3. MATERIAL E MÉTODOS

- *quadrado médio dos resíduos (QMR)* (Tomé, 1988) e definido como

$$QMR = SQR/(n - p).$$

- *resíduos PRESS e APRESS*, medidas da capacidade preditiva dos modelos, são medidas de maior fiabilidade que a análise de resíduos tradicionais. Os resíduos *PRESS* (*Prediction Errors Sum of Squares*) são definidos supondo que se ajusta o modelo n vezes, suprimindo de cada vez uma das observações, o que permite gerar um conjunto de resíduos independentes aos dados (Myers, 1986).

As estatísticas *PRESS* e *APRESS* são definidas do seguinte modo

$$PRESS = \sum_{i=1}^n RP_i^2$$

$$APRESS = \sum_{i=1}^n |RP_i|$$

onde, RP_i = resíduo *PRESS*, i.e. o resíduo para y_i quando esta observação foi excluída;

$$RP_i = (y_i - \hat{y}_i) / (1 - h_{ii}) = r_i / (1 - h_{ii})$$

onde, \hat{y}_i = valor estimado para y_i quando esta observação foi excluída;

$y_i - \hat{y}_i = r_i$, resíduo para y_i (valor observado menos valor estimado);

h_{ii} = valor da matriz de projecção, que é uma medida estandarizada da distância do ponto x_i a x .

A matriz de projecção é definida por $H = X(X'X)^{-1}X'$, onde X é a matriz dos dados (Myers, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

- quadrado médio absoluto dos resíduos PRESS (QMARP) (Tomé, 1991) e definido como

$$QMARP = \left(\sum_{i=1}^n |RP_i| \right) / n.$$

Segundo Draper *et al.* (1981), caso se pretenda seleccionar a melhor equação de regressão de entre todas as regressões possíveis de Y em função de um conjunto de variáveis independentes, deve ser considerado para além, do R^2 e do QMR, a estatística de C_p Mallows (*Conceptual Predictive Criteria*). No caso dos modelos lineares o valor da estatística C_p deve ser igual ou próxima do n° de parâmetros do modelo em análise (Myers, 1986). De acordo com este autor a estatística C_p para um modelo de p parâmetros é definida por

$$\begin{aligned} C_p &= p + ((s^2 - \hat{\sigma}^2)(n - p)) / \hat{\sigma}^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n (h_{ii}) + ((QMR - QMRK)(n - p)) / QMRK \end{aligned}$$

onde, $\hat{\sigma}^2$ estimativa da variância dos erros do modelo máximo que será expresso pelo QMR do modelo máximo (QMRK);

s^2 estimativa da variância dos erros do modelo específico que será expresso pelo QMR do modelo específico (QMR).

Esta estatística reflecte o compromisso de selecção entre os ajustamentos por defeito e os ajustamentos por excesso (Myers, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Averigou-se da inexistência de *colinearidade* através do cálculo do *factor de inflação da variância máximo (FIVM)* e do *nº de condição da matriz* $X^* X^*$ $^{-1}$ (NCOND). A existência de multicolinearidade no modelo, i.e. a ocorrência de multidependências quasi-lineares (colinearidade) entre os regressores, verifica-se em consequência da existência de correlações entre as diversas variáveis X_i 's entre si (Myers, 1986). Segundo este autor, a matriz $X^* X^*$ $^{-1}$ obtém-se escalando e centrando os regressores x_{ij} da matriz dos dados, ou seja

$$(x_{ij} - \bar{x}_i) / \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$

e sendo $X_{(n,k+1)} = [I_{(n,1)} / X_{(n,k)}^*]$. Assim, aquela matriz é a matriz $X^* X^*$ escalada e centrada, sem as primeiras linha e coluna, é a matriz de correlação. Quando a diagonal do inverso da matriz de correlação (matriz $(X^* X^*)^{-1}$) for superior a 1 constatamos da existência de colinearidade, dando-nos o seu valor absoluto a sua ordem de grandeza, já que os elementos da diagonal desta matriz não são mais do que as variâncias dos coeficientes de regressão. Estes valores denominam-se de factores de inflação da variância, na medida em que a existência da colinearidade inflacionou os elementos do inverso da matriz de correlação (Myers, 1986). Segundo este autor, o *factor de inflação da variância* pode ainda definir-se como,

$$FIV = 1/(1 - R_i^2)$$

onde, R_i^2 = coeficiente de determinação da regressão de x_i nos outros regressores.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Assim, calcularam-se as seguintes estatísticas:

- *factor de inflação da variância máximo (FIVM)* (Tomé, 1991):

$$FIVM = M^T X (fiv_i).$$

- *número de condição da matriz* ($X^* X^*$) $3(NCOND)$ (Tomé, s.d.):

$$NCOND = \lambda M^T X / \lambda \text{ MIN}$$

onde, $\lambda M^T X$ e $\lambda \text{ MIN}$ são, respectivamente, o maior e o menor valores próprios da matriz $X^* X^*$.

A *análise de resíduos tradicional*, já que os resíduos nem sempre têm um comportamento idêntico aos erros do modelo, reveste-se de algumas reservas quanto à sua utilização na medida em que a variância dos resíduos em torno de zero se torna menor à medida do seu afastamento do centro dos dados e por outro lado porque se verifica a existência de correlação dos resíduos entre si. No entanto, o estudo destes resíduos deve ser realizado com o objectivo de detectar discrepâncias entre o modelo postulado e os dados observados (Myers, 1986). Esta análise permite detectar:

- a ocorrência de ajustamento de por defeito;
- a violação da hipótese de homogeneidade da variância;
- pontos suspeitos e/ou erros nos dados;
- a não normalidade dos erros;
- a existência de pontos altamente influentes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Assim, se procedeu à análise dos gráficos dos resíduos tradicionais. Realizou-se também, o cálculo da média absoluta dos resíduos tradicionais (*MAR*) como estatística indicadora da capacidade preditiva dos modelos. Esta foi definida da seguinte forma:

- *média absoluta dos resíduos (MAR)*

$$MAR = \left(\sum_{i=1}^n |r_i| \right) / n.$$

Com o propósito de superar algumas limitações que os resíduos tradicionais apresentam pode-se recorrer à estimativa de resíduos que sejam independentes dos dados. São exemplos, os *resíduos Press* anteriormente definidos assim como, os resíduos estudantizados (Myers, 1986). Os *resíduos estudantizados* têm a mesma precisão que os resíduos tradicionais, são independentes da localização do ponto, adimensionais e apresentam uma estrutura semelhante ao t-student (Myers, 1986). São definidos da seguinte forma:

$$rstud_i = r_i / \sqrt{1 - h_{ii}}.$$

De facto, o resíduo estudantizado não é mais do que o resíduo Press standardizado, i.e. dividido pela raiz quadrada da variância (Tomé, s.d.).

Outra forma de obter um conjunto de resíduos independentes dos dados é recorrer à validação cruzada, i.e. calcular os *erros de predição* do modelo a partir do *conjunto de dados de validação* (Myers, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Assim, após o ajustamento de cada modelo calcularam-se, com o conjunto de dados para a validação (*FASE DE VALIDAÇÃO*), os *resíduos de predição* (rp) para cada modelo, sendo rp_i o resíduo de predição para a observação i (valor observado menos o valor estimado pelo modelo). Escolheram-se as seguintes medidas de capacidade preditiva (*estatísticas de predição*):

- *média dos quadrados dos resíduos de predição* ($MQrp$) (Tomé, 1988) e definida como

$$MQrp = \left(\sum_{i=1}^n rp_i^2 \right) / n .$$

onde, rp_i = resíduo de predição para a observação i ;

n = nº de observações do conjunto de validação.

- *percentagem de variação explicada pelo modelo* (R^2rp) (Tomé, 1988) e definida como

$$R^2rp = 1 - (SQrp/SQT)$$

onde, SQT = soma dos quadrados total para o conjunto de dados de validação;

$SQrp$ = soma dos quadrados dos resíduos de predição para o conjunto dos dados de validação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

- *média dos resíduos de predição* (Mrp) (Tomé, 1988) e definida como

$$Mrp = \left(\sum_{i=1}^n rp_i \right) / n.$$

Esta medida permite detectar o enviesamento dos modelos (idealmente $Mrp=0$).

- *variância dos resíduos de predição* (Vrp) (Tomé, 1988) e definida como

$$Vrp = \left(\sum_{i=1}^n (rp_i - \overline{rp})^2 \right) / (n - 1).$$

- *média do valor absoluto dos resíduos de predição* ($MArp$) (Tomé, 1988) e definida como

$$MArp = \left(\sum_{i=1}^n |rp_i| \right) / n.$$

As duas últimas medidas permitem avaliar o erro que em média se comete com a aplicação do modelo.

Autores como Cao *et al.* (1980), Biging (1984), Byrne e Reed (1986) e Parresol *et al.* (1987) utilizaram como estatísticas de predição na fase de validação dos seus modelos as estatísticas $MQrp$, $MArp$, Vrp . Byrne e Reed (1986) usou ainda a estatística R^2rp .

3.5. PROCEDIMENTOS

O ajustamento dos diversos modelos de equações de $EV's$, $EVP's$, $EPT's$ e sistemas compatíveis (*FASE 3*) foi realizado com recurso ao programa estatístico *GENSTAT5* no Centro de Informática do ISA (CIISA). Este software permite o uso de diversas directivas, que mais não são do que rotinas de cálculo, que permitem a execução dos diversos procedimentos de ajustamento estatístico. Estas directivas são utilizadas como instruções de programação em programas a desenvolver pelo utilizador permitindo grande flexibilidade de adequação ao fim pretendido.

Os programas para o ajustamento dos modelos foram adaptados a partir de *MACROS* desenvolvidas por Tomé (1989) e Tomé (1991) no Departamento de Engenharia Florestal (DEF) do ISA.

Para se proceder ao ajustamento dos modelos, primeiro elaborou-se a base de dados global relativa aos perfis das árvores (*c/c*), ficheiro *PERFIL.DAT*. Neste domínio é de referir a seguinte particularidade do PER.III de recolha de dados, em consequência da aplicação do método de análise de tronco. O comprimento dos toros foi considerado como sendo o comprimento comercial do toro praticado acrescido da espessura da rodela extraída imediatamente abaixo do respectivo toro. Relativamente à bicada, o seu comprimento é também acrescido da espessura da última rodela extraída, i.e. imediatamente acima da altura de despona realizada. O ficheiro de dados *PERFIL.DAT* arquiva as variáveis *ARVN*, *h*, *d*, *D* e *H*.

Através de uma amostragem sistemática estratificada por período e local, geraram-se os dois sub-conjuntos de dados (conjunto de *AJUSTAMENTO* e conjunto de *VALIDAÇÃO*).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para cada sub-conjunto de dados, de ajustamento e de validação, respectivamente, ficheiros *PERFAJ.DAT* e *PERFVAL.DAT*, realizou-se o cálculo dos volumes parciais e posteriormente os volumes parciais acumulados a partir do solo (variável *vm*) para cada uma das 73 árvores de cada sub-conjunto de dados. Para o efeito, elaboraram-se os programas em *GENSTAT5*, respectivamente, *CUBAGEM.GEN* e *VACUMVA.GEN*. O cálculo dos volumes parciais (*c/c*) foi realizado usando a fórmula de Smalian para estimar o volume individual de cada toro, usando a fórmula do cilindro para avaliar o volume do cepo e usando a fórmula do cone para avaliar o volume da bicada (Avery e Burkhardt, 1983). Originam-se assim, os ficheiros *VMAJ.DAT* e *VMVAL.DAT*, respectivamente, para cada sub-conjunto de dados e que arquivam a variável *vm*. É de notar que o volume parcial acumulado a partir do solo ao nível do topo é o volume total da árvore (*VT*). Através dos programas de leitura *FICHVMAJ.GEN* e *FICHVMVA.GEN*, a partir dos ficheiros *VMAJ.DAT* e *VMVAL.DAT* conjuntamente com os ficheiros de base *PERFAJ.DAT* e *PERFVAL.DAT*, geraram-se os ficheiros *VMAJ.LIS* e *VMVAL.LIS* que arquivam as variáveis *ARVN*, *VT*, *vm*, *d*, *h*, *D*, *H*, *hc* e *dc*, respectivamente, para cada sub-conjunto de dados. Estes dois ficheiros constam, respectivamente, de 588 e 576 observações. Paralelamente geraram-se os ficheiros *VTAJ.LIS* e *VTVAL.LIS* que arquivam as variáveis *ARVN*, *VT*, *D* e *H* e constam, respectivamente, de 73 observações cada um deles.

Em seguida analisou-se a distribuição daquelas variáveis, volume total *c/c* (*VT*), volume mercantil *c/c* ou seja, volume mercantil a partir do solo (*vm*), diâmetro *c/c* ao longo do perfil da árvore (*d*), altura ao longo do perfil da árvore (*h*), *DAP c/c* (*D*), altura total (*H*), diâmetro do cepo *c/c* (*dc*) e altura do cepo (*hc*) para os vários conjuntos de dados - global, de ajustamento e de validação. A tabela 3.5 apresenta os intervalos de variação destas variáveis e os respectivos nº de observações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

TABELA 3.5: Amplitude das variáveis volume total *c/c*, volume mercantil *c/c* a partir do solo, diâmetro *c/c* ao longo do perfil, altura ao longo do perfil, *DAP c/c*, altura total, diâmetro do cepo *c/c* e altura do cepo e respectivos *nº* de observações

	GLOBAL	N.OBS.	AJUSTAMENTO	N.OBS.	VALIDAÇÃO	N.OBS.
<i>VT (m³)</i>	[0.017-1.481]	146	[0.017-1.481]	73	[0.019-1.357]	73
<i>vm (m³)</i>	[0.0006-1.481]	1164	[0.0006-1.481]	588	[0.0009-1.357]	576
<i>d (cm)</i>	[0-51.2]	1164	[0-51.2]	588	[0-47.4]	576
<i>h (m)</i>	[0.05-24.05]	1164	[0.05-24.05]	588	[0.05-23.6]	576
<i>D (cm)</i>	[6.5-47.6]	146	[6.5-47.6]	73	[7.2-40.19]	73
<i>H (m)</i>	[6.45-24.05]	146	[6.45-24.05]	73	[6.6-23.6]	73
<i>dc (cm)</i>	[10.4-51.2]	1164	[10.4-51.2]	588	[10.5-47.4]	576
<i>hc (m)</i>	[0.05-1.10]	1164	[0.05-0.15]	588	[0.05-1.10]	576

A variável volume total *c/c*, no global dos dados, encontra-se representada entre os 0.017 m³ e os 1.481 m³. Volumes totais *c/c* de cerca de 0.02 m³ foram os mais frequentes (51% das situações), observando-se uma diminuição decrescente da representatividade destes volumes à medida que vão sendo cada vez maiores.

As variáveis analisadas, volume total *c/c*, volume mercantil *c/c* a partir do solo, diâmetro *c/c* ao longo do perfil, altura ao longo do perfil, *DAP c/c*, altura total, diâmetro do cepo *c/c* e altura do cepo referentes aos conjuntos de dados de ajustamento e de validação acompanham a tendência geral dos dados no seu global.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Apresenta-se na Figura 3.5 a distribuição diamétrica das árvores abatidas para o global dos dados e para os conjuntos de dados de ajustamento e de validação.

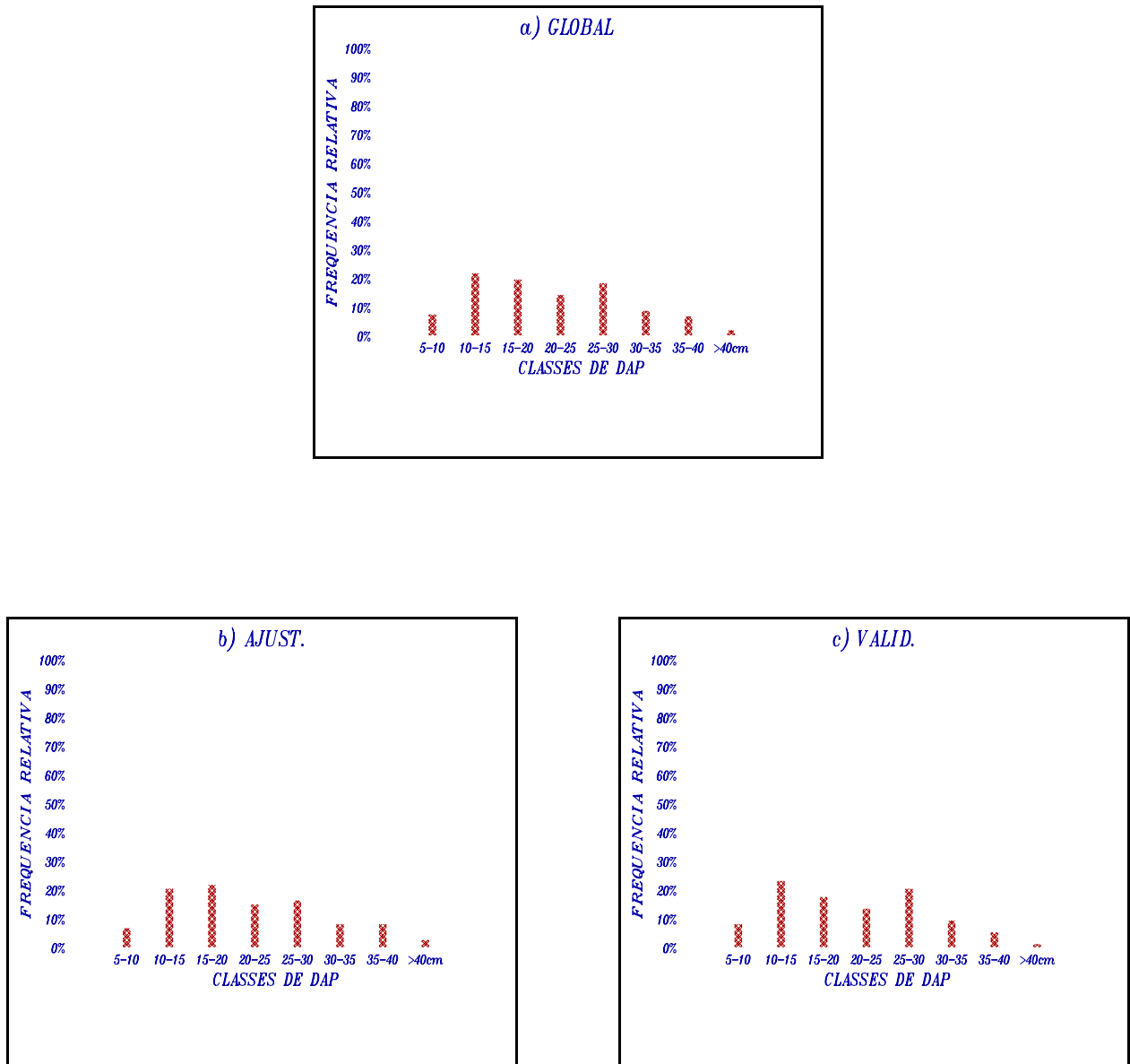


FIGURA 3.5: Histogramas de frequências relativas - DAP c/c (cm): a) GLOBAL; b) AJUST.; c) VALID.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Após, procedeu-se ao ajustamento dos modelos de *EV's*, *EVP's* e *EPT's* expressos nas tabelas 2.1, 2.2 e 2.3. No caso dos modelos de *EV's* testaram-se ainda as combinações lineares, com ordenada na origem, com duas variáveis e com três variáveis da seguinte função:

$$VT = f(D, H, D^2, H^2, DH, D^2 H, DH^2, D^2 H^2).$$

De entre os 92 sub-modelos resultantes realizou-se uma primeira triagem destes a partir do cálculo das estatísticas, R^2 , R^2AJ , C_p , QMR , $PRESS$, $APRESS$, $FIVM$ e $NCOND$, recorrendo à *MACRO* desenvolvida no DEF para esse efeito, *EVCOMB.GEN*. Foram critérios de exclusão dos sub-modelos o seu valor de C_p e o $FIVM$. Assim, todos os sub-modelos que apresentassem um valor de C_p muito diferente do seu nº de parâmetros e/ou um valor de $FIVM$ superiores a 15 (denotando existência de colinearidade) eram eliminados. Desta forma, se restringiu o nº de modelos candidatos a apenas 9 sub-modelos. O ajustamento das *EV's* foram realizados com 73 dados, ficheiro *VTAJ.LIS*.

O ajustamento das *EVP's* assim como, das *EPT's* foram realizados com 588 dados, ficheiro *VMAJ.LIS*. No ajustamento das *EVP's* considerou-se, para todos os modelos expressos na tabela 2.2, a variável $R=vm/VT$ para poder compatibilizar o ajustamento das *EVP's* com o dos sistemas de equações compatíveis, visto estes serem desenvolvidos com $R=vm/VT$ como pode ser confirmado pela visualização da tabela 2.4. O ajustamento das *EVP's* foi realizado considerando $R=f(D, H, d \text{ ou } h)$. O ajustamento das *EPT's* foi realizado considerando $d=f(h, D, H)$.

O ajustamento dos modelos lineares foi realizado segundo o método dos mínimos quadrados ordinários, através das directivas *TERMS*, *FIT*, do *GENSTAT5* (Genstat5 Committee, 1987). O ajustamento dos modelos não lineares foi realizado por regressão não linear utilizando as directivas *EXPR*, *MODEL*, *FIT*, *RCYCLE*, *FITNONLINEAR* do *GENSTAT5* (Genstat5 Committee, 1987).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O ajustamento por regressão não linear é realizado segundo um processo iterativo que requer o "input" de parâmetros iniciais. O *GENSTAT5* permite a opção entre os *métodos de Gauss-Newton e Newton-Raphson* (adaptados às diferenças finitas) na resolução deste processo. No caso dos modelos não lineares mas linearizáveis utilizaram-se os coeficientes de regressão estimados no ajustamento por regressão linear desse modelo linearizado, como parâmetros inicializadores ao processo. No caso dos modelos não lineares não linearizáveis procedeu-se previamente à pesquisa de soluções iniciais através da directiva *GRID* do *GENSTAT5* (Genstat5 Committe, 1987).

Nestes programas foram calculadas parte das estatísticas que nos permitem avaliar a qualidade do ajustamento do modelo em questão e da sua capacidade preditiva (*QMR, R², R²AJ, PRESS, APRESS, QMARF e MAR*), assim como o grau de colinearidade dos modelos (*FIVM e NCOND*) (*FASE 4*). Na figura 3.6 sintetizam-se os procedimentos do ajustamento dos modelos.

Todas estas estatísticas foram calculadas para os dados de base i.e., para as *EV's* foram calculadas em termos de volume total com casca (*VT*), para as *EVP's* foram calculadas em termos de percentagem do volume total com casca abaixo de um diâmetro ou altura de despona (*R*) e para as *EPT's* foram calculadas em termos de diâmetros com casca ao longo do tronco (*d*).

O cálculo dos resíduos Press foi realizado recorrendo à diagonal da matriz de projecção (*HAT MATRIX*) e que no processo de ajustamento da regressão linear é implicitamente calculada (directiva *RKEEP ... ; LEV=HAT* do *GENSTAT5*). No processo de ajustamento da regressão não linear já tal não acontece havendo que proceder ao seu cálculo.

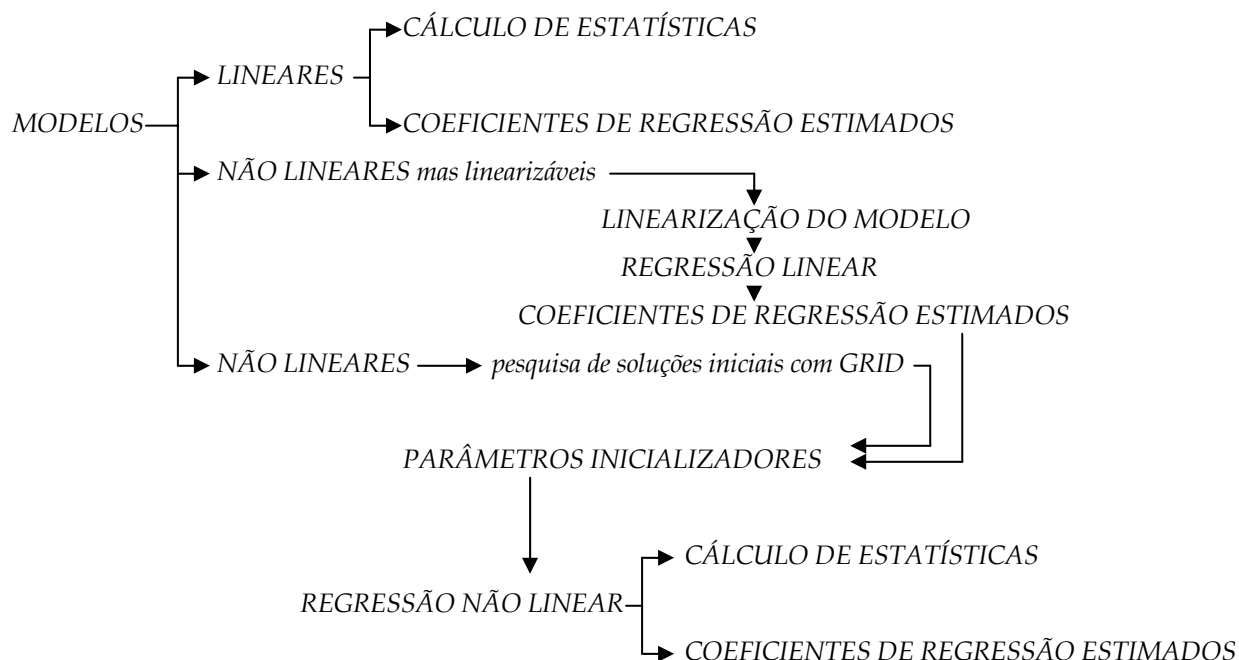


FIGURA 3.6: Diagrama dos procedimentos utilizados no ajustamento dos modelos

O estudo da colinearidade dos modelos lineares e dos modelos não lineares, com ordenada na origem e sem ordenada na origem, foi realizado considerando para matriz dos X_i 's os valores das derivadas parciais dos coeficientes de regressão no ponto de convergência (directiva *RKEEP ...*; *GRAD=WAUX* do *GENSTAT5*). O procedimento utilizado foi verificado para as diversas situações não ocorrendo erro desde que se observem os seguintes casos particulares. Assim, para os modelos lineares a matriz *WAUX* apresenta uma dimensão de $[n,k]$ sendo n o nº de dados e k o nº de variáveis independentes do modelo (ou seja, vai corresponder à matriz dos X_i 's); para os modelos não lineares a matriz *WAUX* apresenta uma dimensão de $[n,p]$ sendo p o nº de parâmetros do modelos; caso os

3. MATERIAL E MÉTODOS

modelos apresentem ordenada na origem há ainda que ter em consideração que, porque a matriz *WAUX* representa as derivadas parciais dos coeficientes de regressão no ponto de convergência, a respectiva derivada do coeficiente de regressão que expressa a ordenada na origem é 1 e por essa razão a primeira coluna da matriz *WAUX* deverá ser eliminada para o processo de avaliação da colinearidade.

Para a validação dos modelos ajustados realizou-se um programa em *GENSTAT5* para o cálculo da estatísticas de predição M_{rp} , MA_{rp} , MQ_{rp} , R_{rp}^2 e V_{rp} , *VALIDEV.GEN*. Estas estatísticas também foram calculadas para os dados de base i.e., para as *EV's* foram calculadas em termos de volume total com casca (*VT*), para as *EVP's* foram calculadas em termos de volumes mercantis com casca (*vm*) e para as *EPT's* foram calculadas em termos de diâmetros com casca ao longo do tronco (*d*). No caso das *EVP's* a estimativa dos volumes mercantis com casca (variável *vm*) foi obtida segundo a definição da variável *R*. Sendo $R=vm/VT$, variável estimada pelos modelos ajustados, a explicitação da variável *vm* obtêm-se multiplicando o valor *R* estimado para cada árvore pelo volume total com casca observado em cada árvore.

Como existem zonas do tronco de maior valor comercial que outras analisou-se também a capacidade preditiva dos modelos de *EVP's* e *EPT's* ao longo do tronco segundo classes de altura e segundo classes de diâmetro do tronco. Assim, analisaram-se os resíduos de predição por classes de 10% de altura total e por classes de diâmetro do tronco de amplitude de 5 cm, quanto aos seus valores médio, mínimo, máximo e variância. Para as *EVP's* analisaram-se os resíduos de predição relativos aos volumes mercantis com casca (*vm*), para as *EPT's* analisaram-se os resíduos de predição relativos à reconstituição do perfil do tronco i.e., diâmetros com casca ao longo do tronco (*d*).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Ainda no caso das *EPT*'s, analisaram-se os modelos quanto à sua capacidade preditiva para a estimativa do volume total com casca e de volumes mercantis com casca. Assim, para cada modelo de *EPT*'s realizou-se a reconstituição do perfil do tronco das árvores que constituem o sub-conjunto de validação e em seguida procedeu-se à sua cubagem rigorosa segundo a toragem praticada, recorrendo novamente aos programas *CUBAGEM.GEN* e *VACUMVA.GEN*. Geraram-se os ficheiros, *VMEPT.DAT* que arquiva as variáveis *vm* observado e *vm* estimados para cada modelo de *EPT*'s e *VTEPT.DAT* que arquiva as variáveis *VT* observado e *VT* estimados para cada modelo de *EPT*'s. As estatísticas de predição descritas no item 3.4. foram calculadas em termos do volume total com casca (*VT*) e em termos de volumes mercantis com casca (*vm*). Analisaram-se também os resíduos de predição relativos aos volumes mercantis com casca ao longo do tronco por classes de 10% de altura total e por classes de diâmetro do tronco de amplitude de 5 cm, quanto aos seus valores médio, mínimo, máximo e variância.

A análise dos modelos de *EV*'s foi realizada em termos de volumes totais com casca. A selecção do melhor modelo de *EV* foi no sentido daquele que proporcionava melhores estimativas para o volume total com casca. A análise dos modelos de *EVP*'s, de um lado os modelos de tipo *Rh* e de outro lado os modelos de tipo *Rd*, foi realizada em termos de volumes mercantis com casca no global e por secções do tronco. A selecção do melhor modelo de *EVP* foi no sentido daquele que proporcionava melhores estimativas para os volumes mercantis com casca no global e ainda segundo as secções do tronco de maior valor comercial. A análise dos modelos de *EPT*'s foi realizada em termos da reconstituição do perfil do tronco, no global e por secções do tronco, assim como em termos do volume total com casca e em termos de volumes mercantis com casca, estes últimos no global e por secções do tronco.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A selecção do melhor modelo de *EPT* foi no sentido daquele que proporcionava melhores estimativas para a reconstituição do perfil da árvore no global e ainda por secções do tronco. Foi tido em consideração também, a sua capacidade preditiva quanto ao volume total com casca e quanto aos volumes mercantis com casca, no global e segundo as secções do tronco de maior valor comercial.

A selecção dos modelos para cada tipo de equações foi realizado considerando por um lado os modelos lineares e e por outro lado os modelos não lineares, visto a ordem de grandeza dos respectivos valores de *FIVM* e *NCOND* não serem comparáveis.

Primeiramente, realizou-se a ordenação dos modelos de *EV's*, *EVP's* e *EPT's* com base nos valores das estatísticas obtidas na fase de ajustamento e nas estatísticas de predição consideradas no item 3.4. através do cálculo de um *índice de ordenação* dos modelos (*IOR*). Este é definido como a soma dos índices de ordem de cada modelo segundo as componentes capacidade de ajustamento (*IAJ*), análise da colinearidade (*IC*) e capacidade preditiva (*IP*):

$$IOR = IAJ + IC + IP .$$

Na tabela 3.6 apresentam-se quais as estatísticas consideradas na avaliação das componentes capacidade de ajustamento, análise da colinearidade e capacidade preditiva.

Com vista ao cálculo do índice de ordenação dos modelos elaborou-se o programa em *GENSTAT5 IORD.GEN*. Este programa realiza diversas transformações sobre as estatísticas calculadas de forma a reduzi-las ao intervalo de [0,1] para que o valor do índice de ordenação fique condicionado ao intervalo de [0,3].

3. MATERIAL E MÉTODOS

TABELA 3.6: Critérios para a avaliação dos modelos (FASE 4)

	<i>ESTATÍSTICAS DE AJUSTAMENTO</i>
<i>AJUSTAMENTO</i>	<i>QMR R² R²AJ Cp</i>
	<i>AVALIAÇÃO DA COLINEARIDADE</i>
	<i>FIVM NCOND</i>
	<i>ESTATÍSTICAS DE PREDIÇÃO</i>
<i>AJUSTAMENTO</i>	<i>PRESS APRESS QMARP MAR</i>
<i>VALIDAÇÃO</i>	<i>MQrp Mrp Vrp MArp R²rp</i>

A avaliação de cada uma das componentes *IAJ*, *IC* e *IP* foi obtida, respectivamente, pela média dos valores reduzidos das estatísticas consideradas para cada uma destas componentes:

$$IAJ = (I(QMR) + I(R^2) + I(R^2 AJ))/3$$

$$IC = (I(FIVM) + I(NCOND))/2$$

$$IP = (I(PRESS) + I(APRESS) + I(QMARP) + I(MAR) + \\ + I(MQrp) + I(Mrp) + I(Vrp) + I(MArp) + I(R^2 rp))/9 .$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

Por exemplo, para as estatísticas R^2 , R^2AJ e R^2rp , onde se pretende que aos modelos que apresentem o maior valor relativo para cada uma destas estatísticas lhes correspondam valores dos respectivos índices iguais a 1 e aos modelos que apresentam o menor valor relativo para estas estatísticas correspondam valores dos respectivos índices iguais a zero, realizaram-se as seguintes transformações que se exemplifica para o índice referente à estatística R^2 ($I(R^2)$):

$$I_1 = 1 - ((\text{MAX}(R^2)) - R^2) / \text{MAX}(R^2)$$

$$I_2 = I_1 - \text{MIN}(I_1)$$

$$I(R^2) = I_2 / (\text{MAX}(I_2)).$$

Para as estatísticas $FIVM$ e $NCOND$, onde se pretende que aos modelos que apresentem o menor valor relativo para cada uma destas estatísticas lhes correspondam valores dos respectivos índices iguais a 1 e aos modelos que apresentam o maior valor relativo para estas estatísticas correspondam valores dos respectivos índices iguais a zero, realizaram-se as seguintes transformações que se exemplifica para o índice referente à estatística $FIVM$ ($I(FIVM)$):

$$I_1 = 1 - ((FIVM - (\text{MIN}(FIVM))) / \text{MIN}(FIVM))$$

$$I_2 = \text{MAX}(\text{ABS}(I_1)) + I_1$$

$$I(FIVM) = I_2 / (\text{MAX}(I_2)).$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

No caso das estatísticas *QMR*, *PRESS*, *APRESS*, *QMARP*, *MAR*, *Mrp*, *MArp*, *MQrp* e *Vrp*, onde se pretende que aos modelos que apresentem o menor valor relativo para cada uma destas estatísticas lhes correspondam valores dos respectivos índices iguais a 1 e aos modelos que apresentam o maior valor relativo para estas estatísticas correspondam valores dos respectivos índices iguais a zero, realizaram-se as seguintes transformações que se exemplifica para o índice referente à estatística *QMR* ($I(QMR)$):

$$I_1 = 1 - ((QMR - (\text{MIN}(QMR))) / \text{MIN}(QMR))$$

$$I_2 = I_1 - \text{MIN}(I_1)$$

$$I(QMR) = I_2 / (\text{MAX}(I_2)).$$

Excepção feita para o índice referente à estatística *Mrp* ($I(Mrp)$), por apresentar valores quer positivos quer negativos, e que se exemplifica:

$$I_1 = 1 - ((\text{MAX}(\text{ABS}(Mrp)) - (\text{ABS}(Mrp))) / \text{MAX}(\text{ABS}(Mrp)))$$

$$I_2 = (\text{ABS}(I_1)) - \text{MIN}(\text{ABS}(I_1))$$

$$I(Mrp) = I_2 / (\text{MAX}(I_2)).$$

3. MATERIAL E MÉTODOS

E excepção feita para o índice referente à estatística $MArp$ ($I(MArp)$) que se exemplifica:

$$I_1 = 1 - ((MArp - (\text{MIN}(MArp))) / \text{MIN}(MArp))$$

$$I_2 = I_1 - \text{MAX}(I_1)$$

$$I(MArp) = I_2 / (\text{MAX}(I_2)).$$

4

Desta forma, pretende-se que o modelo que obtiver o índice de ordenação máximo seja o modelo que em média apresente as melhores características quanto às três componentes em análise.

Para as situações em que se realizou a análise por secções de tronco elaborou-se o programa *PRED.GEN* que gera o ficheiro de resíduos *RESID.DAT* e que arquiva as variáveis *ARVN*, *H/h*, *d*, *rp*'s originados por cada modelo. A partir deste ficheiro de dados e através da elaboração do programa *TABUL.GEN* calcularam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição, segundo as classes de altura e segundo as classes de diâmetro estabelecidas, os quais foram enviados, respectivamente, para os ficheiros de saída *CLAH.DAT* que arquiva as variáveis *TMED*, *TMIN*, *TMAX*, *TVAR* por modelo e para cada classe de altura e *CLAD.DAT* que arquiva as variáveis *TMED*, *TMIN*, *TMAX*, *TVAR* por modelo e para cada classe de diâmetro.

Neste caso, o índice de ordenação foi definido no intervalo de [0,1] e calculado para cada uma das classes estabelecidas. Assim, para a classe *i* e para cada modelo, o índice de ordenação é definido por:

$$IORD_i = (I(TMED)_i + I(TMIN)_i + I(TMAX)_i + I(TVAR)_i) / 4.$$

Por exemplo, o índice $I(TMED)_i$ de cada modelo e para a classe *i* é calculado da seguinte forma:

3. MATERIAL E MÉTODOS

$$I_{i1} = I - ((\text{MAX}(\text{ABS}(TMED)_i) - (\text{ABS}(TMED)_i)) / \text{MAX}(\text{ABS}(TMED)_i))$$

$$I_{i2} = (\text{ABS}(I_{i1})) - \text{MIN}(\text{ABS}(I_{i1}))$$

$$I(TMED)_i = I_{i2} / (\text{MAX}(I_{i2})).$$

5

Os índices $I(TMED)_i$, $I(TMIN)_i$, $I(TMAX)_i$ e $I(TVAR)_i$ de cada modelo e para a classe i calculam-se de forma semelhante.

Os programas *ICLAH.GEN* e *ICLD.GEN* foram elaborados para o cálculo dos índices dos modelos, respectivamente, por classes de altura e por classes de diâmetro. Para tal, nestes programas foram incluídas diversas directivas que permitiram realizar a leitura da base de dados por classes de altura e para cada modelo e por classes de diâmetro e para cada modelo.

A selecção final de cada grupos de modelos considerou o índice de ordenação global atribuído a cada modelo e ainda, no caso de se ter realizado a análise por secções do tronco, os índices de ordenação atribuídos por classes de altura e de diâmetro do tronco confrontando-os, sempre que necessário, com os valores absolutos das estatísticas que estiveram na base do seu cálculo.

Após a selecção dos melhores modelos de *EV's*, *EVP's* e *EPT's* realizou-se novo ajustamento dos modelos eleitos com a *BASE DE DADOS GLOBAL*.

Na Figura 3.7 apresenta-se um diagrama síntese dos procedimentos utilizados para a

3. MATERIAL E MÉTODOS

selecção dos melhores modelos de EV's, EVP's e EPT's.

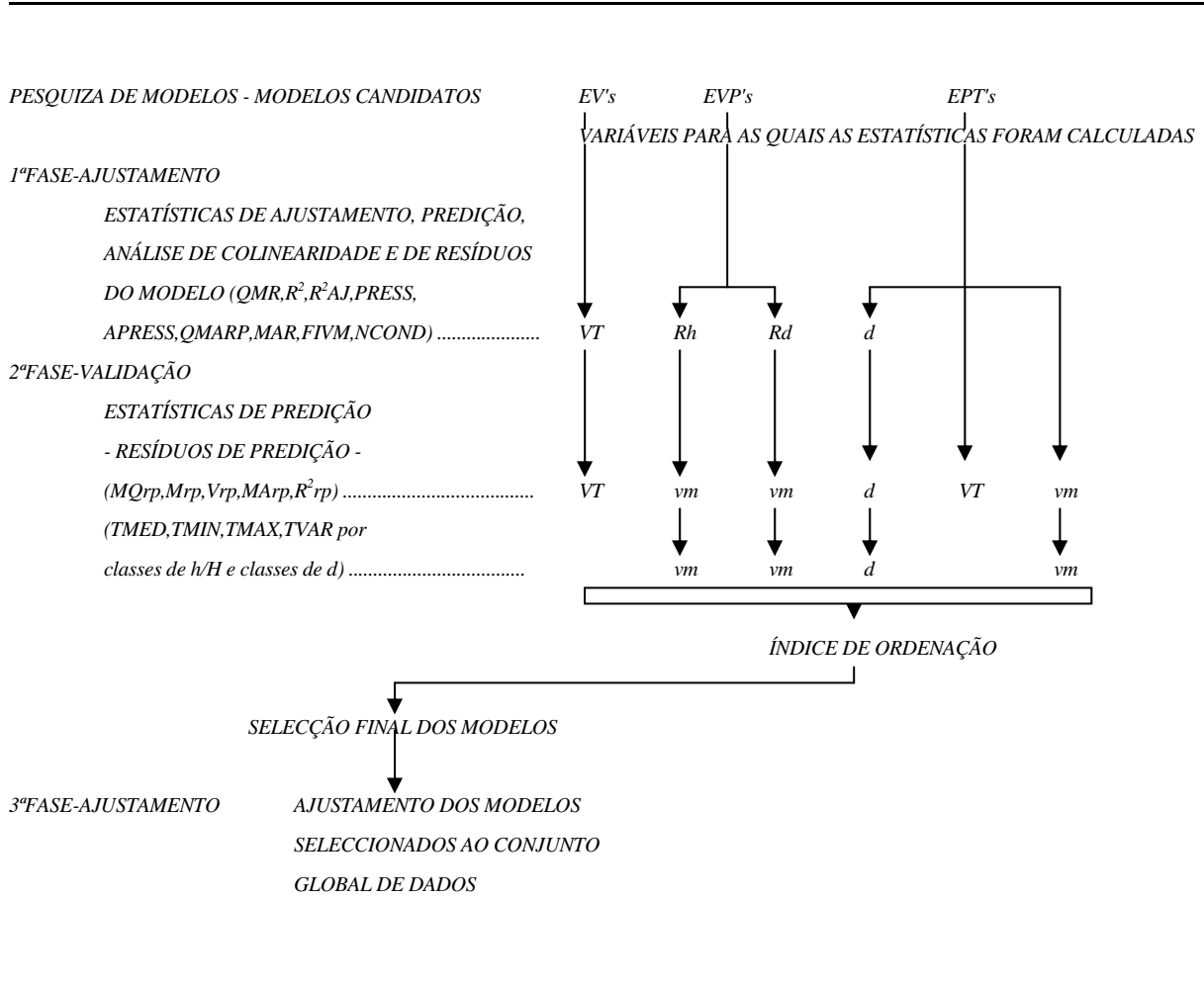


FIGURA 3.7: Diagrama síntese dos procedimentos de selecção dos modelos (FASE 5)

Relativamente aos sistemas de equações compatíveis apresentados na tabela 2.4 apenas foi ajustado aquele cuja EPT constituinte coincidiu com o modelo eleito.

Para o ajustamento do sistema de equações compatíveis seleccionado impuseram-se as

3. MATERIAL E MÉTODOS

restrições algébricas aos parâmetros para assegurar a compatibilidade numérica do sistema. A resolução algébrica do sistema a considerar neste trabalho encontra-se apresentada na Tabela 2.4. Após realizado o ajustamento dos modelos e haver procedido à eleição da melhor *EPT* identificou-se o sistema de equações compatíveis a ajustar. Em seguida, resolveu-se algebricamente os coeficientes das outras equações do sistema com base nos coeficientes de regressão obtidos no ajustamento da *EPT* (Byrne e Reed, 1986). Procedeu-se também, no sentido inverso ou seja, após ajustada a *EV* determinou-se algebricamente os coeficientes da *EPT* seleccionada como a melhor, sendo os coeficientes livres (não algebricamente determinados) estimados pelo método dos mínimos quadrados. Na primeira situação optimiza-se a soma de quadrados dos resíduos (*SQR*) em volume e sub-optimiza-se a soma de quadrados dos resíduos (*SQR*) em diâmetros e na segunda situação optimiza-se a soma de quadrados dos resíduos (*SQR*) em diâmetros e sub-optimiza-se a soma de quadrados dos resíduos (*SQR*) em volume. O sistema foi avaliado relativamente à precisão das suas predições para o perfil do tronco e volumes da árvore.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentar-se-ão os resultados obtidos no tratamento estatístico relativo ao ajustamento e validação dos diversos modelos de *EV's*, *EVP's* e *EPT's* testados e subsequente eleição dos melhores modelos de acordo com os critérios de selecção definidos no capítulo anterior.

Apresenta-se também, o sistema de equações compatíveis, derivado a partir do modelo de *EPT* eleita como a melhor, e sua subsequente validação.

4.1. EQUAÇÕES DE VOLUME

Apresentam-se na tabela 4.1 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.2 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EV's não lineares*. São eles:

<i>EV1</i>	$VT = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$
<i>EV4</i>	$VT = b_1 (D^2 H)^{b_2}$
<i>EV7</i>	$VT = D^2 / (b_0 + b_1 / H)$
<i>EV9</i>	$VT = D^2 H / (b_0 + b_1 D)$
<i>EV13</i>	$VT = b_0 + b_1 D^{b_2} H^{b_3}$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A EV7 foi excluída à partida por apresentar singularidade ou seja, os coeficientes de regressão estimados são muito instáveis.

TABELA 4.1: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EV's não lineares

MOD.	QMR	R ²	R ² AJ	PRESS	APRESS	QMARF	MAR	FIVM	NCOND
EV1	0.0022	0.9765	0.9758	0.2	2.2	0.0305	0.0267	553.2173	2549.0308
EV4	0.0022	0.9764	0.9761	0.2	2.1	0.0287	0.0266	524.7676	2096.9390
EV9	0.0023	0.9758	0.9754	0.2	2.2	0.0306	0.0277	27.1485	106.5545
EV13	0.0022	0.9765	0.9755	0.3	2.3	0.0311	0.0266	551.1735	2537.5493

TABELA 4.2: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EV's não lineares

MOD.	M _{rp}	M _{Arp}	M _{Qrp}	R ² _{rp}	V _{rp}
EV1	0.0115	0.0193	0.0012	0.9815	0.0012
EV4	-0.0184	0.0267	0.0016	0.9782	0.0013
EV9	-0.0025	0.0204	0.0012	0.9819	0.0012
EV13	0.0010	0.0012	0.0012	0.9816	0.0012

Estas estatísticas foram calculadas em termos de volume total *c/c*.

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de EV's não lineares.

Os índices de ordenação de cada modelo podem ser visualizados na tabela 4.3. Salienta-se, para os índices segundo cada componente analisada e para o índice global, o posicionamento dos três valores mais altos observados, assinalando o melhor valor com um asterisco, o segundo melhor valor com dois asteriscos e o terceiro melhor valor com três asteriscos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.3: Ordenação dos modelos de EV's não lineares

MOD.	IAJ	IP	IC	IORD
EV1	0.8571**	0.7569*	0.0000	1.614**
EV4	0.9524*	0.4444	0.1196**	1.516***
EV9	0.0000	0.6521***	1.0000*	1.652*
EV13	0.7143	0.6577**	0.0043	1.376

Da análise da tabela 4.3 verifica-se a seguinte ordenação por ordem decrescente EV9, EV1, EV4 e EV13.

Os modelos de EV's lineares são os seguintes:

$$EV2 \quad VT = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 H$$

$$EV3 \quad VT = b_0 + b_1 D^2 H$$

$$EV6 \quad VT = b_1 D^2 H$$

$$EV8 \quad VT = D^2 (b_0 + b_1 H)$$

$$EV10 \quad VT = b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 DH^2 + b_4 H^2$$

$$EV11 \quad VT = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H + b_5 H$$

$$EV12 \quad VT = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H$$

A estes modelos de EV's lineares há ainda a acrescentar os sub-modelos originados das combinações lineares, com ordenada na origem, com duas variáveis e com três variáveis da função:

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

$$VT = f (D, H, D^2, H^2, DH, D^2 H, DH^2, D^2 H^2).$$

Os sub-modelos foram referenciados em conformidade com o nº ordem de ocorrência da variável em questão na função. Por exemplo, a *EV125* representa o sub-modelo linear com ordenada na origem em ordem a *D*, *H* e *DH*. O sub-modelo de 1 variável coincidiu com a *EV3*. Assim, do total dos 92 sub-modelos originados, apenas foram ajustados alguns dos sub-modelos de 2 variáveis e de 3 variáveis, num total de 9 sub-modelos, tendo por base as estatísticas calculadas para o modelo máximo e combinações testadas. Os 9 sub-modelos seleccionados são os seguintes:

<i>EV15</i>	$VT = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 H$
<i>EV25</i>	$VT = b_0 + b_1 H + b_2 D^2 H$
<i>EV37</i>	$VT = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H^2$
<i>EV45</i>	$VT = b_0 + b_1 H^2 + b_2 D^2 H$
<i>EV56</i>	$VT = b_0 + b_1 D^2 H + b_2 H^2 D$
<i>EV125</i>	$VT = b_0 + b_1 D + b_2 H + b_3 D^2 H$
<i>EV145</i>	$VT = b_0 + b_1 D + b_2 H^2 + b_3 D^2 H$
<i>EV237</i>	$VT = b_0 + b_1 H + b_2 D + b_3 D^2 H^2$
<i>EV347</i>	$VT = b_0 + b_1 D^2 + b_2 H^2 + b_3 D^2 H^2$

Apresenta-se na tabela 4.4 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.5 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EV's lineares*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.4: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EV's lineares

MOD.	QMR	R ²	R ² AJ	PRESS	APRESS	QMARP	MAR	FIVM	NCOND
EV2	0.0023	0.9762	0.9752	0.2	2.2	0.0306	0.0272	35.9013	165.9529
EV3	0.0022	0.9759	0.9756	0.2	2.1	0.0286	0.0272	1.0000	1.0000
EV6	0.0023	0.9745	0.9745	0.2	2.2	0.0298	0.0287	1.0000	1.0000
EV8	0.0023	0.9750	0.9747	0.2	2.2	0.0295	0.0273	19.4722	75.8754
EV10	0.0023	0.9763	0.9752	0.3	2.2	0.0307	0.0262	242.1103	1898.1282
EV11	0.0023	0.9769	0.9751	0.3	2.4	0.0327	0.0265	1106.2064	13534.9111
EV12	0.0023	0.9768	0.9755	0.3	2.3	0.0315	0.0266	492.1437	5500.1880
EV15	0.0022	0.9762	0.9756	0.2	2.1	0.0283	0.0261	8.9675	33.8403
EV25	0.0023	0.9762	0.9755	0.2	2.2	0.0296	0.0274	2.9446	9.6749
EV37	0.0024	0.9749	0.9742	0.2	2.1	0.0290	0.0260	5.6998	20.7508
EV45	0.0023	0.9761	0.9754	0.2	2.2	0.0297	0.0274	2.8393	9.2490
EV56	0.0023	0.9761	0.9754	0.2	2.2	0.0300	0.0273	8.6717	32.6563
EV125	0.0023	0.9764	0.9754	0.2	2.2	0.0297	0.0267	10.3695	48.4889
EV145	0.0023	0.9764	0.9754	0.2	2.2	0.0298	0.0266	12.0070	53.7606
EV237	0.0023	0.9755	0.9744	0.2	2.2	0.0296	0.0259	10.0373	41.8322
EV347	0.0024	0.9754	0.9743	0.3	2.2	0.0296	0.0258	15.4747	64.5464

É de referir que os modelos *EV6*, *EV8* e *EV10* não apresentam ordenada na origem. Myers (1986) refere que o valor de R^2 destes modelos não é comparável com os dos restantes modelos lineares com ordenada na origem. Este aspecto foi tido em consideração na selecção dos modelos avaliando-os apenas através dos restantes parâmetros estatísticos calculados. Também aqui, as estatísticas foram calculadas em termos de volume total *c/c*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.5: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EV's lineares

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	<i>R²rp</i>	<i>Vrp</i>
<i>EV2</i>	0.0017	0.0197	0.0012	0.9813	0.0012
<i>EV3</i>	0.0020	0.0207	0.0012	0.9809	0.0012
<i>EV6</i>	0.0107	0.0012	0.0012	0.9819	0.0011
<i>EV8</i>	0.0077	0.0014	0.0014	0.9794	0.0013
<i>EV10</i>	0.0020	0.0190	0.0012	0.9821	0.0012
<i>EV11</i>	-0.0002	0.0202	0.0011	0.9826	0.0011
<i>EV12</i>	0.0013	0.0011	0.0011	0.9825	0.0011
<i>EV15</i>	0.0017	0.0198	0.0013	0.9797	0.0013
<i>EV25</i>	0.0017	0.0201	0.0011	0.9821	0.0012
<i>EV37</i>	0.0019	0.0010	0.0010	0.9836	0.0011
<i>EV45</i>	0.0017	0.0204	0.0011	0.9823	0.0011
<i>EV56</i>	0.0017	0.0011	0.0011	0.9825	0.0011
<i>EV125</i>	0.0016	0.0194	0.0012	0.9809	0.0012
<i>EV145</i>	0.0015	0.0012	0.0012	0.9812	0.0012
<i>EV237</i>	0.0021	0.0190	0.0010	0.9841	0.0010
<i>EV347</i>	0.0021	0.0010	0.0010	0.9841	0.0010

Das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos lineares de EV's e que se encontra expressa na tabela que se segue:

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.6: Ordenação dos modelos de EV's lineares

MOD.	IAJ	IP	IC	IOR
EV2	0.6409	0.5341	0.9781	2.153
EV3	0.8611**	0.6033	1.0000*	2.464**
EV6	0.2381	0.5571	1.0000*	1.795
EV8	0.3551	0.4602	0.9889	1.804
EV10	0.6548	0.4784	0.8208	1.954
EV11	0.7143	0.4313	0.0000	1.146
EV12	0.7956***	0.5885	0.5746	1.959
EV15	0.9028*	0.5681	0.9952	2.466*
EV25	0.7123	0.5961	0.9988***	2.307
EV37	0.0556	0.9078*	0.9971	1.961
EV45	0.6746	0.6336	0.9989***	2.307
EV56	0.6746	0.7435	0.9954	2.413***
EV125	0.7163	0.5693	0.9940	2.280
EV145	0.7163	0.6814	0.9931	2.391
EV237	0.3532	0.8047**	0.9944	2.152
EV347	0.1488	0.7989***	0.9911	1.939

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação por ordem decrescente EV15, EV3, EV56, EV145, EV25 e EV45, EV125, EV2, EV237, EV37, EV12, EV10, EV347, EV8, EV6 e EV11.

A EV5, $\log(VT) = b_0 + b_1 \log(D) + b_2 \log^2(D) + b_3 \log(H) + b_4 \log^2(H)$ foi o único modelo de EV linear logarítmico testado. Esta foi à partida eliminada por apresentar elevada colinearidade (FIVM=295.3905 e NCOND=2614.6421).

Da análise das tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 optou-se por seleccionar a EV1 posicionada em 2º lugar de entre os modelos não lineares. Esta apresenta o 2º melhor índice de ajustamento e o melhor índice de predição; é no entanto, em termos relativos, a que apresenta pior índice de colinearidade, embora o seu valor absoluto não difira muito dos outros modelos, excepção feita à EV9.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise das tabelas 4.4, 4.5 e 4.6 observamos que os modelos lineares sem ordenada na origem acabam por não suscitar problemas na medida em que o seu posicionamento é mau. Optou-se por seleccionar a *EV3* posicionada em 2º lugar de entre os modelos lineares. Esta apresenta o 2º melhor índice de ajustamento e o melhor índice de colinearidade, apesar de apresentar um índice de predição não muito elevado. Comparando os valores absolutos, que estão na base do cálculo do índice para este modelo com aquele que se posicionou em 1º lugar, as diferenças não são muito significativas.

A selecção final, de entre os modelos *EV1* e *EV3*, irá recair na *EV3* modelo com uma capacidade de ajustamento ligeiramente inferior, capacidade preditiva equivalente e sem colinearidade.

4.2. EQUAÇÕES DE VOLUME PERCENTUAL

4.2.1. EQUAÇÕES DE VOLUME PERCENTUAL EM FUNÇÃO DE h

Apresentam-se na tabela 4.7 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.8 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EVP's não lineares*. São eles:

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

EVP4	$R = 1 + [b_1(H - h)^{b_2} / H^{b_3}]$
EVP5	$R = 1 - z + b_2(z^2 - z) + b_3(z^3 - z) + b_4(z^4 - z) + b_5(z^5 - z) + b_6(z^6 - z)$
EVP9	$R = 1 - [1 - \exp(-b_1 \tan(b - 2 H^{b_3} z))]^{b_4}$
EVP13	$R = 1 + z^{b_1}$
EVP15	$R = \exp(b_1 z^{b_2})$
EVP16	$R = \exp[b_1(p^{b_2} / H^{b_3})]$

As estatísticas da fase de ajustamento foram calculadas em termos da percentagem do volume total c/c abaixo da altura de despona volume (R).

Os modelos *EVP9* e *EVP13* foram eliminados à partida por apresentarem singularidade.

TABELA 4.7: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EVP's não lineares, em função de h

MOD.	QMR	R ²	R ² AJ	PRESS	APRESS	QMARP	MAR	FIVM	NCOND
EVP4	0.0008	0.9929	0.9929	0.5	11.4	0.0194	0.0192	321.4983	1741.6383
EVP5	0.0009	0.9928	0.9928	0.5	10.7	0.0182	0.0181	2203.6934	1.5703E+07
EVP15	0.0028	0.9766	0.9765	1.6	22.9	0.0389	0.0387	1.2945	2.8239
EVP16	0.0026	0.9781	0.9781	1.5	22.5	0.0382	0.0379	147.2206	729.0392

As estatísticas da fase de validação foram calculadas em termos do volume mercantil c/c (vm).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.8: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EVP's não lineares, em função de h

<i>MOD.</i>	<i>M_{rp}</i>	<i>MA_{rp}</i>	<i>MQ_{rp}</i>	<i>R²_{rp}</i>	<i>V_{rp}</i>
<i>EVP4</i>	-0.0002	0.0057	0.0001	0.9980	0.0001
<i>EVP5</i>	-0.0014	0.0060	0.0002	0.9974	0.0002
<i>EVP15</i>	-0.0059	0.0127	0.0005	0.9922	0.0004
<i>EVP16</i>	-0.0033	0.0122	0.0004	0.9934	0.0004

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de EVP's não lineares. Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.9.

TABELA 4.9: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de h

<i>MOD.</i>	<i>IAJ</i>	<i>IP</i>	<i>IC</i>	<i>IORD</i>
<i>EVP4</i>	1.0000*	0.9813*	0.9273***	2.909*
<i>EVP5</i>	0.9793**	0.8955**	0.0000	1.875**
<i>EVP15</i>	0.0000	0.0000	1.0000*	1.000
<i>EVP16</i>	0.0965	0.1312	0.9668**	1.195***

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação decrescente *EVP4*, *EVP5*, *EVP16* e *EVP15*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos foram ainda ordenados segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.10 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.11 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de 10% da altura total.

TABELA 4.10: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
10%	EVP4	0.00179	-0.0163	0.03996	0.00008
	EVP5	-0.00160	-0.0706	0.02605	0.00013
	EVP15	-0.01790	-0.1385	0.03211	0.00077
	EVP16	-0.01310	-0.1001	0.04201	0.00062
20%	EVP4	0.00431	-0.0432	0.04198	0.00012
	EVP5	-0.00086	-0.0904	0.02630	0.00021
	EVP15	0.01198	-0.0174	0.05666	0.00017
	EVP16	0.01502	-0.0032	0.06761	0.00025
30%	EVP4	-0.00212	-0.0623	0.03368	0.000225
	EVP5	-0.00529	-0.0909	0.02636	0.000354
	EVP15	0.00665	-0.0378	0.05488	0.000209
	EVP16	0.01153	-0.0209	0.06572	0.000224

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.10: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
40%	EVP4	-0.00267	-0.0749	0.02204	0.000278
	EVP5	-0.00239	-0.0860	0.02418	0.000344
	EVP15	-0.00184	-0.0799	0.02915	0.000366
	EVP16	0.00296	-0.0315	0.03111	0.000177
50%	EVP4	-0.00484	-0.0748	0.02041	0.000235
	EVP5	-0.00275	-0.0747	0.02530	0.000240
	EVP15	-0.01309	-0.1121	0.00329	0.000448
	EVP16	-0.01058	-0.0774	0.00520	0.000259
60%	EVP4	-0.00500	-0.0628	0.01246	0.000237
	EVP5	-0.00256	-0.0588	0.01856	0.000233
	EVP15	-0.02110	-0.1196	0.00181	0.000718
	EVP16	-0.01911	-0.0983	0.00142	0.000528
70%	EVP4	-0.00126	-0.02705	0.01576	0.0000770
	EVP5	-0.00024	-0.02722	0.01765	0.0000806
	EVP15	-0.01547	-0.07354	-0.00080	0.0002361
	EVP16	-0.01487	-0.06885	-0.00106	0.0002050
80%	EVP4	0.000173	-0.01368	0.00882	0.0000179
	EVP5	-0.000042	-0.01415	0.00829	0.0000189
	EVP15	-0.008023	-0.04056	-0.00012	0.0000794
	EVP16	-0.007827	-0.03840	-0.00019	0.0000723

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.10: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
90%	EVP4	0.000679	-0.01605	0.00618	0.0000118
	EVP5	0.000275	-0.01647	0.00568	0.0001150
	EVP15	-0.003405	-0.02170	-0.00033	0.0000149
	EVP16	-0.003377	-0.02166	-0.00033	0.0000147
100%	EVP4	-0.000042	-0.00366	0.000970	0.0000002
	EVP5	0.000043	-0.00359	0.000850	0.0000002
	EVP15	-0.000106	-0.00408	0.000000	0.0000003
	EVP16	-0.000106	-0.00408	0.000000	0.0000003

TABELA 4.11: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de h , segundo classes de 10% de altura total

MOD.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
EVP4	0.7722***	0.8472**	0.8749**	0.8149*	0.7987***	0.8248**	0.7699*	0.7473**	0.7167**	0.5490**
EVP5	0.9162*	0.9073*	0.8899*	0.7881**	0.7498	0.7500	0.7483**	0.7608*	0.7573*	0.6106*
EVP15	0.8300**	0.7786***	0.7836***	0.7431	0.9313**	0.8245***	0.6757	0.5743	0.5207	0.2745***
EVP16	0.7308	0.7294	0.7339	0.7479***	0.9501*	0.8730*	0.7036***	0.6015***	0.5296***	0.2745***

Da análise da tabela 4.11 observamos que são os modelos *EVP4* e *EVP5* que melhores performances preditivas apresentam ao longo do tronco da árvore.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ordenaram-se ainda os modelos segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.12 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco.

TABELA 4.12: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EVP4	0.000049	-0.00014	0.00106	0.00000
	EVP5	0.000048	-0.00020	0.00107	0.00000
	EVP15	-0.000050	-0.00084	0.00000	0.00000
	EVP16	-0.000050	-0.00087	0.00000	0.00000
10cm	EVP4	0.001050	-0.00492	0.00627	0.0000035
	EVP5	0.001189	-0.00531	0.00747	0.0000035
	EVP15	-0.001290	-0.00872	0.00650	0.0000092
	EVP16	-0.001580	-0.00867	0.00523	0.0000000
15cm	EVP4	0.00014	-0.02212	0.01576	0.0000263
	EVP5	0.00073	-0.02130	0.01765	0.0000261
	EVP15	-0.00458	-0.03576	0.01130	0.0000831
	EVP16	-0.00496	-0.03546	0.00964	0.0000712

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.12: Resíduos de predição por classes de diâmetro de tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
20cm	EVP4	-0.00148	-0.0236	0.01583	0.0000638
	EVP5	-0.00081	-0.0227	0.01630	0.0000694
	EVP15	-0.00679	-0.0601	0.02093	0.0002518
	EVP16	-0.00576	-0.0545	0.02248	0.0002261
25cm	EVP4	-0.00184	-0.0482	0.02363	0.000242
	EVP5	-0.00278	-0.0452	0.02530	0.000217
	EVP15	-0.00667	-0.1067	0.03564	0.000777
	EVP16	-0.00245	-0.0956	0.04545	0.000736
30cm	EVP4	-0.0008	-0.0748	0.03368	0.000414
	EVP5	-0.0065	-0.0747	0.02636	0.000438
	EVP15	-0.0050	-0.1196	0.05488	0.001039
	EVP16	-0.0033	-0.0983	0.06572	0.000928
35cm	EVP4	-0.0017	-0.0749	0.0420	0.000577
	EVP5	-0.0113	-0.0909	0.0263	0.000887
	EVP15	-0.0171	-0.0799	0.0567	0.001352
	EVP16	-0.0035	-0.0575	0.0676	0.001422
40cm	EVP4	0.0078	-0.0163	0.0400	0.00029
	EVP5	-0.0092	-0.0706	0.0260	0.00074
	EVP15	-0.0374	-0.1385	0.0454	0.00293
	EVP16	-0.0185	-0.1001	0.0590	0.00234

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.12: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de h (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
45cm	EVP4	0.0006	-0.0060	0.0117	0.000041
	EVP5	0.0000	-0.0059	0.0049	0.000013
	EVP15	-0.0499	-0.0792	0.0034	0.000771
	EVP16	-0.0432	-0.0697	0.0153	0.000878
50cm	EVP4	0.0025	0.0025	0.0025	0.0000000
	EVP5	0.0037	0.0037	0.0037	0.0000000
	EVP15	-0.0720	-0.0720	-0.0720	0.0000000
	EVP16	-0.0633	-0.0633	-0.0633	0.0000000

Na tabela 4.13 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de diâmetro.

TABELA 4.13: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de h, segundo classes de diâmetro do tronco (5cm)

MOD.	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
EVP4	0.7475***	0.7913*	0.7932**	0.9973*	0.9962*	0.9864**	0.9821**	0.9920*	0.9965**	1.0000*
EVP5	0.7458	0.7402**	0.7458	0.9920**	0.9918**	0.9956*	0.9847*	0.9919**	0.9995*	0.9991**
EVP15	0.9412*	0.6766	0.7597***	0.8370***	0.8636***	0.9162***	0.9562	0.9611	0.9557***	0.9501
EVP16	0.9391**	0.7277***	0.8105*	0.8263	0.8384	0.9070	0.9582***	0.9644***	0.9541	0.9564***

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise da tabela 4.13 observamos que são os modelos *EVP4* e *EVP5* que apresentam melhores performances ao longo do tronco da árvore.

No caso dos modelos de *EVP's lineares* apresenta-se na tabela 4.14 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.15 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para o único modelo de *EVP's lineares*:

$$EVP1 \quad R = 1 + b_1(h/H - 1) + b_2(h^2/H^2 - 1)$$

TABELA 4.14: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - *EVP linear*, em função de *h*

<i>MOD.</i>	<i>QMR</i>	R^2	R^2_{AJ}	<i>PRESS</i>	<i>APRESS QMARP</i>	<i>MAR</i>	<i>FIVM</i>	<i>NCOND</i>
<i>EVP1</i>	0.0011	0.9909	0.9908	0.6	13.6	0.0231	0.0230	14.2266

TABELA 4.15: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - *EVP linear*, em função de *h*

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	R^2_{rp}	<i>Vrp</i>
<i>EVP1</i>	-0.0023	0.0076	0.0002	0.9972	0.0002

Na tabela 4.16 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de 10% da altura total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.16: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP linear, em função de h

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
10%	EVP1	-0.005242	-0.05396	0.03231	0.0001751
20%	EVP1	0.004733	-0.06047	0.03991	0.0001538
30%	EVP1	-0.000032	-0.06753	0.03869	0.0002550
40%	EVP1	0.000360	-0.07514	0.02765	0.0003117
50%	EVP1	-0.003412	-0.07541	0.02272	0.0002405
60%	EVP1	-0.005821	-0.06762	0.01344	0.0002915
70%	EVP1	-0.004993	-0.04471	0.01128	0.0001081
80%	EVP1	-0.005420	-0.02718	0.001660	0.0000474
90%	EVP1	-0.006692	-0.02259	-0.00618	0.0000253
100%	EVP1	-0.0003970	-0.01124	0.000000	0.0000030

Em seguida apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.17: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP linear, em função de h

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EVP1	-0.0001910	-0.006680	0.000420	0.0000008
10cm	EVP1	-0.001512	-0.01594	0.006540	0.0000173
15cm	EVP1	-0.001356	-0.02640	0.01128	0.0000441
20cm	EVP1	-0.001403	-0.03164	0.01980	0.0000947
25cm	EVP1	-0.001480	-0.05919	0.02733	0.0002943
30cm	EVP1	-0.003070	-0.07541	0.03869	0.0004493
35cm	EVP1	-0.009911	-0.07514	0.03991	0.0006921
40cm	EVP1	-0.014530	-0.05396	0.032310	0.0008294
45cm	EVP1	-0.013620	-0.02417	0.002780	0.0000785
50cm	EVP1	-0.018410	-0.01841	-0.01841	0.0000000

Da análise das tabelas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13 seleccionou-se de entre os modelos não lineares a EVP4 posicionada em 1º lugar. Esta apresenta o melhor índice de ajustamento e o melhor índice de predição, embora o índice de colinearidade não seja dos melhores. A análise de resíduos ao longo do tronco vem reforçar o posicionamento deste modelo quanto à sua boa performance preditiva segundo classes de altura do tronco (tabela 4.11). Denota-se no entanto, que a EVP5 se apresenta nalguns casos superior embora, em termos absolutos estas diferenças não sejam significativas. Este último modelo porém, não será seleccionado devido ao seu elevado grau de

colinearidade.

Analisando agora, o único modelo linear através da observação das tabelas 4.14, 4.15, 4.16 e 4.17 concluímos que ele é inferior ao modelo *EVP4*. Assim, a selecção final recai sobre o modelo *EVP4*.

4.2.2. EQUAÇÕES DE VOLUME PERCENTUAL EM FUNÇÃO DE *d*

Apresentam-se na tabela 4.18 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.19 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EVP's não lineares*. São eles:

<i>EVP3</i>	$R = 1 + b_1 (d^{b_2} / D^{b_3})$
<i>EVP7</i>	$R = 1 + b_1 d^{b_2} D^{b_3}$
<i>EVP8</i>	$R = 1 - [1 - \exp(-b_1 \tan(b_2 H^{b_3}(d/D)))]^{b_4}$
<i>EVP10</i>	$R = \exp[b_1 (d/D)^{b_2}]$
<i>EVP11</i>	$R = 1 + b_1 d^{b_2} / (D^{b_3} H^{b_4})$
<i>EVP12</i>	$R = 1 + b_1 (d/D)^{b_2} (b_3 H + b_4)^{b_5}$
<i>EVP14</i>	$R = \exp[b_1 (d^{b_2} / D^{b_3})]$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas da fase de ajustamento foram calculadas em termos da percentagem do volume total c/c abaixo da altura de despona volume (R).

Os modelos $EVP8$ e $EVP12$ foram eliminados à partida por apresentarem singularidade.

TABELA 4.18: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EVP 's não lineares, em função de d

<i>MOD.</i>	<i>QMR</i>	R^2	R^2_{AJ}	<i>PRESS</i>	<i>APRESS</i>	<i>QMARP</i>	<i>MAR</i>	<i>FIVM</i>	<i>NCOND</i>
<i>EVP3</i>	0.0102	0.9143	0.9140	6.1	43.7	0.0743	0.0736	227.9585	1169.1091
<i>EVP7</i>	0.0102	0.9143	0.9140	6.1	43.7	0.0743	0.0736	230.0210	1171.1597
<i>EVP10</i>	0.0064	0.9457	0.9456	3.8	28.1	0.0479	0.0476	1.0629	1.6432
<i>EVP11</i>	0.0095	0.9199	0.9195	5.8	42.0	0.0714	0.0706	249.3318	1952.2416
<i>EVP14</i>	0.0050	0.9581	0.9580	3.0	24.2	0.0411	0.0408	355.8515	2046.2075

As estatísticas da fase de validação foram calculadas em termos do volume mercantil c/c (vm).

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de EVP 's não lineares. Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.20.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.19: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EVP's não lineares, em função de d

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	R^2_{rp}	<i>Vrp</i>
<i>EVP3</i>	0.0083	0.0253	0.0020	0.9599	0.0020
<i>EVP7</i>	0.0083	0.0253	0.0020	0.9599	0.0020
<i>EVP10</i>	-0.0058	0.0009	0.0009	0.9846	0.0009
<i>EVP11</i>	0.0107	0.0252	0.0021	0.9579	0.0020
<i>EVP14</i>	0.0010	0.0125	0.0007	0.9878	0.0007

TABELA 4.20: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de d

<i>MOD.</i>	<i>IAJ</i>	<i>IP</i>	<i>IC</i>	<i>IOD</i>
<i>EVP3</i>	0.0000	0.1113	0.6802**	0.792
<i>EVP7</i>	0.0000	0.1113	0.6773	0.789
<i>EVP10</i>	0.7219**	0.8127**	1.0000*	2.535*
<i>EVP11</i>	0.1292	0.1117	0.6501	0.891***
<i>EVP14</i>	1.0000*	0.9498*	0.5000	2.450**

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação decrescente *EVP10*, *EVP14*, *EVP11*, *EVP7* e *EVP3*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos foram ainda ordenados segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.21 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.22 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de 10% da altura total.

TABELA 4.21: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de d

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
10%	EVP3	-0.00850	-0.2553	0.2517	0.00458
	EVP7	-0.00860	-0.2557	0.2513	0.00458
	EVP10	-0.02121	-0.2867	0.0170	0.00217
	EVP11	-0.00171	-0.2149	0.2286	0.00369
	EVP14	-0.00811	-0.1889	0.0504	0.00112
20%	EVP3	-0.01870	-0.1202	0.00760	0.000623
	EVP7	-0.01875	-0.1203	0.00740	0.000625
	EVP10	-0.01033	-0.1348	0.01793	0.000974
	EVP11	-0.01720	-0.1231	0.05790	0.000652
	EVP14	-0.00131	-0.1010	0.04947	0.000587

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.21: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de d (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
30%	EVP3	-0.00503	-0.0582	0.04700	0.000438
	EVP7	-0.00508	-0.0592	0.04690	0.000437
	EVP10	-0.00992	-0.0920	0.05627	0.000872
	EVP11	-0.00104	-0.0512	0.11600	0.000721
	EVP14	-0.00051	-0.0567	0.09140	0.000858
40%	EVP3	0.01941	-0.0164	0.1081	0.000791
	EVP7	0.01936	-0.0164	0.1080	0.000789
	EVP10	-0.00123	-0.0620	0.0891	0.000739
	EVP11	0.02178	-0.0129	0.1591	0.001295
	EVP14	0.01081	-0.0413	0.1286	0.001010
50%	EVP3	0.02728	-0.00460	0.1867	0.001365
	EVP7	0.02724	-0.00457	0.1865	0.001363
	EVP10	0.00418	-0.04312	0.0865	0.000615
	EVP11	0.02951	-0.00641	0.2438	0.002060
	EVP14	0.01081	-0.03019	0.1701	0.001256
60%	EVP3	0.04405	0.00238	0.2062	0.002267
	EVP7	0.04401	0.00238	0.2060	0.002263
	EVP10	0.00423	-0.02358	0.0522	0.000239
	EVP11	0.04592	0.00191	0.2412	0.003114
	EVP14	0.01158	-0.02017	0.1192	0.000741

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.21: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de d (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
70%	EVP3	0.04025	0.00381	0.2312	0.001691
	EVP7	0.04023	0.00379	0.2310	0.001689
	EVP10	0.00233	-0.03115	0.0684	0.000253
	EVP11	0.04062	0.00282	0.2599	0.002080
	EVP14	0.00503	-0.03042	0.1037	0.000412
80%	EVP3	0.02754	0.00133	0.1722	0.001045
	EVP7	0.02753	0.00133	0.1721	0.001044
	EVP10	-0.00014	-0.01089	0.0290	0.000050
	EVP11	0.02848	0.00136	0.1889	0.001307
	EVP14	0.00049	-0.00986	0.0429	0.000079
90%	EVP3	0.01674	0.00294	0.06170	0.0001660
	EVP7	0.01673	0.00294	0.06160	0.0001660
	EVP10	-0.00115	-0.00419	0.00765	0.0000035
	EVP11	0.01648	0.00260	0.06170	0.0001750
	EVP14	-0.00104	-0.00361	0.01016	0.0000044
100%	EVP3	0.000980	0.00000	0.02420	0.0000170
	EVP7	0.000980	0.00000	0.02420	0.0000170
	EVP10	-0.000006	-0.00071	0.00125	0.0000000
	EVP11	0.000990	0.00000	0.02640	0.0000180
	EVP14	-0.000004	-0.00071	0.00125	0.0000000

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.22: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de d , segundo classes de 10% de altura total

MOD.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
EVP3	0.7177	0.9693**	0.9287**	0.8300***	0.7285	0.5123	0.3913	0.4017	0.3118	0.3476***
EVP7	0.7180	0.9697*	0.9288*	0.8303**	0.7289***	0.5129***	0.3919***	0.4021***	0.3124***	0.3476***
EVP10	0.9602*	0.9482***	0.8886***	0.8692*	0.9042*	0.9384*	0.8772*	0.9247**	0.9529*	0.9457**
EVP11	0.7595***	0.8478	0.8265	0.7506	0.6383	0.4156	0.3221	0.3311	0.3082	0.3141
EVP14	0.9597**	0.8976	0.8624**	0.8038*	0.7873**	0.8148**	0.8125**	0.9046**	0.9510**	0.9461*

Da análise da tabela 4.22 observamos que são os modelos *EVP10* e *EVP14* que melhores performances preditivas apresentam ao longo do tronco da árvore. No entanto, o modelo *EVP10* é o melhor.

Ordenaram-se ainda os modelos segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.23 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco. Na tabela 4.24 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de diâmetro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.23: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de d

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EVP3	0.000280	0.00000	0.00630	0.000001
	EVP7	0.000280	0.00000	0.00630	0.000001
	EVP10	-0.000020	-0.00082	0.00039	0.000000
	EVP11	0.000270	0.00000	0.00570	0.000001
	EVP14	-0.000049	-0.00100	0.00000	0.000000
10cm	EVP3	0.008360	-0.00663	0.03120	0.000053
	EVP7	0.008350	-0.00663	0.03110	0.000053
	EVP10	0.000800	-0.00516	0.01128	0.000010
	EVP11	0.008080	-0.00677	0.03440	0.000056
	EVP14	-0.000451	-0.00697	0.00681	0.000005
15cm	EVP3	0.01325	-0.01974	0.08540	0.000418
	EVP7	0.01323	-0.01975	0.08530	0.000418
	EVP10	0.00083	-0.03115	0.03333	0.000064
	EVP11	0.01311	-0.02333	0.09680	0.000442
	EVP14	-0.00074	-0.03042	0.03016	0.000053
20cm	EVP3	0.01840	-0.05760	0.1722	0.001422
	EVP7	0.01836	-0.05766	0.1721	0.001422
	EVP10	0.00066	-0.04885	0.0563	0.000357
	EVP11	0.01976	-0.04030	0.1889	0.001559
	EVP14	0.00286	-0.04562	0.0713	0.000368

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.23: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de *d* (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
25cm	EVP3	0.01459	-0.0680	0.2312	0.003135
	EVP7	0.01453	-0.0681	0.2310	0.003134
	EVP10	-0.00628	-0.0726	0.0865	0.000857
	EVP11	0.01816	-0.0541	0.2599	0.003616
	EVP14	0.00286	-0.0567	0.1196	0.001084
30cm	EVP3	-0.00686	-0.1255	0.1936	0.003851
	EVP7	-0.00697	-0.1257	0.1935	0.003850
	EVP10	-0.01645	-0.1330	0.0891	0.001757
	EVP11	0.00148	-0.1231	0.2438	0.004400
	EVP14	0.00656	-0.1010	0.1701	0.002232
35cm	EVP3	-0.01615	-0.1462	0.1064	0.004050
	EVP7	-0.01632	-0.1464	0.1063	0.004053
	EVP10	-0.03931	-0.1368	0.0133	0.001748
	EVP11	-0.00334	-0.14819	0.1328	0.005227
	EVP14	-0.00151	-0.1052	0.0914	0.002196
40cm	EVP3	-0.0319	-0.2553	0.1871	0.01732
	EVP7	-0.0322	-0.2557	0.1870	0.01733
	EVP10	-0.0794	-0.2867	0.0098	0.01037
	EVP11	-0.0007	-0.2149	0.1806	0.01369
	EVP14	-0.0264	-0.1889	0.0504	0.00637

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.23: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's não lineares, em função de d (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
45cm	EVP3	0.0903	-0.0074	0.2132	0.006612
	EVP7	0.0900	-0.0077	0.2129	0.006613
	EVP10	-0.0192	-0.0728	0.0113	0.000942
	EVP11	0.0695	-0.0353	0.2085	0.008256
	EVP14	0.0074	-0.0238	0.0369	0.000411
50cm	EVP3	0.25166	0.25166	0.25166	0.00000
	EVP7	0.25130	0.25130	0.25130	0.00000
	EVP10	0.00890	0.00890	0.00890	0.00000
	EVP11	0.22860	0.22860	0.22860	0.00000
	EVP14	0.02040	0.02040	0.02040	0.00000

TABELA 4.24: Ordenação dos modelos de EVP's não lineares, em função de d , segundo classes de diâmetro do tronco (5cm)

MOD.	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
EVP3	0.2500	0.3156	0.4928	0.5339	0.6252	0.7972	0.8681	0.8118	0.7694	0.7725
EVP7	0.2500	0.3165	0.4931	0.5341	0.6255	0.7972	0.8681	0.8117	0.7695	0.7729
EVP10	0.9291*	0.8940**	0.8789**	0.9493*	0.9742*	0.9760*	0.9714*	0.9423**	0.9681**	1.0000*
EVP11	0.2834	0.2878	0.4352	0.5017	0.5630	0.7238	0.8342	0.8450	0.7445	0.7942
EVP14	0.9045**	0.9359*	0.8974*	0.9235**	0.9361**	0.8803**	0.9289**	0.9601*	0.9830*	0.9892**

Da análise da tabela 4.24 observamos que são os modelos *EVP10* e *EVP14* que apresentam melhores performances preditivas ao longo do tronco da árvore embora, o modelo *EVP10* seja superior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No caso dos modelos de *EVP's lineares* apresenta-se na tabela 4.25 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.26 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EVP's lineares*:

$$EVP2 \quad R = b_1 + b_2(d^2/D^2)(1 + hc/H) + b_3[(d^2/D^2)(1 + hc/H)]^2$$

$$EVP6 \quad R = 1 + b_1(d/D) + b_2(d/D)^2 + b_3(d/D)^3 + b_4(d/D)^4 + b_5(d/D)^5 + b_6(d/D)^6$$

É de referir que o modelo *EVP6* não apresenta ordenada na origem. Foi tido em consideração, novamente, que os valores de R^2 destes dois modelos não são comparáveis. Assim, a análise baseou-se nos outros parâmetros estatísticos calculados.

TABELA 4.25: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - *EVP's lineares*, em função de d

MOD.	QMR	R^2	R^2_{AJ}	PRESS	APRESS	QMARF	MAR	FIVM	NCOND
EVP2	0.0113	0.9051	0.9048	6.7	50.9	0.0866	0.0860	6.9832	25.8940
EVP6	0.0063	0.9471	0.9466	3.7	27.7	0.0472	0.0467	1262.2716	265869.9688

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.26: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EVP's lineares, em função de d

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	R^2_{rp}	<i>Vrp</i>
<i>EVP2</i>	-0.0047	0.0277	0.0022	0.9602	0.0022
<i>EVP6</i>	-0.0049	0.0136	0.0009	0.9844	0.0009

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de *EVP's lineares*.

Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.27.

TABELA 4.27: Ordenação dos modelos de *EVP's lineares*, em função de d

<i>MOD.</i>	<i>IAJ</i>	<i>IP</i>	<i>IC</i>	<i>IOD</i>
<i>EVP2</i>	0.0000	0.1111	1.0000*	1.111
<i>EVP6</i>	1.0000*	0.8889*	0.0000	1.889*

Da análise da tabela verifica-se que é a *EVP6* que apresenta o melhor índice de ordenação no entanto, este modelo apresenta uma elevada colinearidade.

Os modelos foram ainda ordenados segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.28 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.28: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's lineares, em função de d

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
10%	EVP2	-0.03897	-0.3861	0.06300	0.004333
	EVP6	-0.01900	-0.2841	0.02365	0.002194
20%	EVP2	-0.01885	-0.1448	0.00913	0.0010580
	EVP6	-0.01163	-0.1399	0.01796	0.0010550
30%	EVP2	-0.003780	-0.06722	0.03653	0.0004300
	EVP6	-0.011237	-0.09490	0.05614	0.0008934
40%	EVP2	0.01960	-0.00935	0.09616	0.0004770
	EVP6	-0.00192	-0.06196	0.08399	0.0007028
50%	EVP2	0.02821	0.00080	0.14512	0.000961
	EVP6	0.00455	-0.04083	0.08380	0.000564
60%	EVP2	0.04062	0.00460	0.1717	0.001534
	EVP6	0.00602	-0.02141	0.0537	0.000237
70%	EVP2	0.03251	-0.00702	0.1940	0.0012120
	EVP6	0.00553	-0.02699	0.0762	0.0002534
80%	EVP2	0.013720	-0.01519	0.12170	0.0006400
	EVP6	0.003541	-0.00461	0.04200	0.0000669

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.28: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's lineares, em função de d (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
90%	EVP2	-0.012190	-0.07863	0.04024	0.0004100
	EVP6	0.000383	-0.01022	0.01399	0.0000145
100%	EVP2	-0.02498	-0.11836	0.000710	0.0005230
	EVP6	-0.00001	-0.00721	0.003840	0.0000010

Na tabela 4.29 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de 10% da altura total.

TABELA 4.29: Ordenação dos modelos de EVP's lineares, em função de d , segundo classes de 10% de altura total

MOD.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
EVP2	0.0000	0.2500	1.0000*	0.5000*	0.2500	0.2500	0.2500	0.0000	0.0000	0.2500
EVP6	1.0000*	0.7500*	0.0000	0.5000*	0.7500*	0.7500*	0.7500*	1.0000*	1.0000*	0.7500*

Da análise da tabela 4.29 observamos que é o modelo *EVP6* que melhores performances preditivas apresenta ao longo do tronco da árvore.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ordenaram-se ainda os modelos segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.30 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco.

TABELA 4.30: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's lineares, em função de d

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EVP2	-0.02400	-0.11840	0.002180	0.000532
	EVP6	-0.00014	-0.00721	0.001010	0.000001
10cm	EVP2	-0.000570	-0.07860	0.01505	0.0002020
	EVP6	0.001680	-0.01022	0.01099	0.0000090
15cm	EVP2	0.01135	-0.02830	0.05808	0.000221
	EVP6	0.00246	-0.02699	0.03382	0.000055
20cm	EVP2	0.01921	-0.04590	0.13423	0.0009240
	EVP6	-0.00155	-0.04963	0.05770	0.0003660
25cm	EVP2	0.011520	-0.06180	0.1940	0.002451
	EVP6	-0.006000	-0.07365	0.0838	0.000891
30cm	EVP2	-0.02139	-0.1626	0.15894	0.003490
	EVP6	-0.01670	-0.1365	0.08400	0.001764

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.30: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EVP's lineares, em função de d (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
35cm	EVP2	-0.05904	-0.1809	0.03272	0.003198
	EVP6	-0.03798	-0.1399	0.01338	0.001907
40cm	EVP2	-0.12016	-0.3861	0.06300	0.018713
	EVP6	-0.07933	-0.2841	0.01323	0.010390
45cm	EVP2	-0.04243	-0.13790	0.02449	0.003788
	EVP6	-0.00818	-0.05773	0.02096	0.000992
50cm	EVP2	0.016100	0.016100	0.016100	0.0000000
	EVP6	0.023650	0.023650	0.023650	0.0000000

Na tabela 4.31 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de diâmetro.

TABELA 4.31: Ordenação dos modelos de EVP's lineares, em função de d , segundo classes de diâmetro do tronco (5cm)

MOD.	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
EVP2	0.0000	0.2500	0.0000	0.2500	0.2500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000*
EVP6	1.0000*	0.7500*	1.0000*	0.7500*	0.7500*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	1.0000*	0.2500

Da análise da tabela 4.31 observa-se que é o modelo *EVP6* aquele que apresenta melhores performances preditivas ao longo do tronco da árvore.

A análise das tabelas 4.18 a 4.31 levou-nos à selecção final, de entre os modelos não lineares e dos modelos lineares, da *EVP10* já que este modelo apresenta uma capacidade de ajustamento e preditiva muito semelhante à *EVP6*, embora ligeiramente inferior no entanto, tem a vantagem de apresentar um nível de colinearidade bastante mais baixo.

4.3. EQUAÇÕES DE PERFIL DO TRONCO

4.3.1. EQUAÇÕES DE PERFIL DO TRONCO - RECONSTITUIÇÃO DO PERFIL DA ÁRVORE

Apresentam-se na tabela 4.32 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.33 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para os modelos de *EPT's não lineares*. São eles

$$\begin{aligned}
 \text{EPT1} \quad d &= D[b_1 x^{1.5} (10^{-1}) + b_2 (x^{1.5} - x^3) D(10^{-2}) + b_3 (x^{1.5} - x^3) H(10^{-3}) + \\
 &\quad + b_4 (x^{1.5} - x^{32}) HD(10^5) + b_5 (x^{1.5} - x^{32}) H^{1/2}(10^3) + b_6 (x^{1.5} - x^{40}) H^2(10^6)]^{0.5} \\
 \text{EPT2} \quad d &= D[b_1 (h/H - 1) + b_2 (h^2 / H^2 - 1)]^{0.5} \\
 \text{EPT3} \quad d &= D[b_1 (1 - 2h/H + h^2 / H^2)]^{0.5} \\
 \text{EPT6} \quad d &= D[b_1 z^{b_2}]^{0.5}
 \end{aligned}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

$$EPT7 \quad d = b_1 D^{b_2} (H - h)^{b_3} H^{b_4}$$

$$EPT8 \quad d = D [b_1 (1 / (D^2 H)) ((H - h) / H)^{b_2} + b_3 ((H - h) / H)^{b_4}]^{0.5}$$

$$EPT9 \quad d = D [b_1 (H - h)^{b_2} / (b_3 H^{b_2+1} + b_4 H^{b_2})]^{0.5}$$

$$EPT10 \quad d = D [(H - h) / (H - 1.3)]^{b_1}$$

EPT11

$$d = D [b_1 (h/H - 1) + b_2 (h^2 / H^2 - 1) + b_3 (u_1 - h/H)^2 I_1 + b_4 (u_2 - h/H)^2 I_2]^{0.5}$$

com, $I_i = 1, h/H \leq u_i$

$I_i = 0, h/H > u_i; i = 1, 2$

$$EPT12 \quad d = D [b_1 (h/H - 1) + b_2 (h^2 / H^2 - 1) + b_3 (u_1 - h/H)^2 I_1]^{0.5}$$

com, $I_1 = 1, h/H \leq u_1$

$I_1 = 0, h/H > u_1$

$$EPT13 \quad d = [(VT / (KH)) (2z + b_1 (3z^2 - 2z) + b_2 (4z^3 - 2z) + b_3 (5z^4 - 2z) + b_4 (6z^5 - 2z))]^{0.5}$$

sendo VT o volume total c/c observado

$$EPT14 \quad d = D [(H - h) / (H - 1.30)] + b_2 [(H - h) (h - 1.30) / H^2] + b_3 [D (H - h) (h - 1.30) / H^2] +$$

$$+ b_4 [D^2 (H - h) (h - 1.30) / H^2] + b_5 [(H - h) (h - 1.30) (2H - h - 1.30) / H^3]$$

$$EPT15 \quad d = [(VT / KH) (2z + b_1 (3z^2 - 2z) + b_2 (z - u_1)^2 I_1 + b_3 (z - u_2)^2 I_2)]^{0.5}$$

com, $I_i = 1, z \geq u_i$

$I_i = 0, z < u_i; i = 1, 2$

sendo VT o volume total c/c observado

$$EPT16 \quad d = D [b_1 + b_2 \ln(1 - (h/H)^{1/b_3} (1 - \exp(-b_1 / b_2)))]$$

$$EPT17 \quad d = D [b_1 z^2 + b_2 z^3 + b_3 (z - u)^2 I + b_4 (z + 2u)(z - u)^2 I]^{0.5}$$

com, $I = 1, z \geq 1u$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

$$I=0, z < u ; i=1,2$$

As estatísticas da fase de ajustamento, assim como as estatísticas da fase de validação foram calculadas em termos de diâmetros do tronco c/c (d).

O modelo *EPT11* não convergiu. O modelo *EPT17* foi eliminado por apresentar singularidade.

TABELA 4.32: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EPT's não lineares

MOD.	QMR	R ²	R ² AJ	PRESS	APRESS	QMARF	MAR	FIVM	NCOND
<i>EPT1</i>	2.4829	0.9772	0.9770	1519.4	611.6	1.0402	1.0208	149.2709	890.5717
<i>EPT2</i>	3.4295	0.9683	0.9683	2034.1	703.7	1.1967	1.1908	6.7457	24.9425
<i>EPT3</i>	6.1860	0.9427	0.9427	3648.6	1042.5	1.7729	1.7692	1.0000	1.0000
<i>EPT6</i>	3.5138	0.9675	0.9675	2083.8	702.2	1.1942	1.1883	1.0026	1.1064
<i>EPT7</i>	3.2114	0.9704	0.9703	1923.0	682.8	1.1612	1.1503	116.3713	709.0086
<i>EPT8</i>	2.9043	0.9733	0.9731	1740.5	641.8	1.0916	1.0800	3.2998	11.9743
<i>EPT9</i>	3.2893	0.9697	0.9696	1972.2	692.3	1.1774	1.1656	1075.3496	5152.0068
<i>EPT10</i>	3.2969	0.9695	0.9695	1945.5	654.4	1.1130	1.1100	1.0000	1.0000
<i>EPT12</i>	2.9229	0.9731	0.9729	1749.7	672.5	1.1436	1.1329	24.0801	122.0957
<i>EPT13</i>	1.9303	0.9822	0.9821	1162.7	517.8	0.8806	0.8702	1583.0604	226392.6406
<i>EPT14</i>	4.1733	0.9616	0.9614	2481.3	808.6	1.3752	1.3637	65.0972	393.7649
<i>EPT15</i>	10.508	0.9034	0.9027	6267.7	1335.8	2.2717	2.2494	23.4575	102.4680
<i>EPT16</i>	2.8256	0.9739	0.9738	1684.9	649.8	1.1051	1.0965	48.1442	203.7422

TABELA 4.33: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EPT's não lineares

MOD.	M _{rp}	MA _{rp}	MQ _{rp}	R ² _{rp}	V _{rp}
<i>EPT1</i>	0.1250	0.9277	1.8403	0.9810	1.8279
<i>EPT2</i>	0.2662	1.1095	2.7544	0.9721	2.6882
<i>EPT3</i>	0.8077	1.6489	5.0865	0.9548	4.4419
<i>EPT6</i>	0.2772	1.1198	2.9034	0.9706	2.8315
<i>EPT7</i>	0.0816	1.1193	2.7399	0.9713	2.7380

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

/.../

TABELA 4.33: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EPT's não lineares

MOD.	M_{rp}	MA_{rp}	MQ_{rp}	R^2_{rp}	V_{rp}
EPT8	0.1719	0.9571	2.0535	0.9789	2.0275
EPT9	0.1567	1.1335	2.8744	0.9702	2.8547
EPT10	0.2855	2.8417	2.8417	0.9701	2.7649
EPT12	0.2558	1.0071	2.1195	0.9785	2.0577
EPT13	0.0284	0.7794	1.4728	0.9850	1.4745
EPT14	0.2109	1.3808	3.7695	0.9620	3.7315
EPT15	-0.0199	2.1134	9.1798	0.8990	9.1954
EPT16	0.2663	0.9859	2.1188	0.9786	2.0514

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de EPT's não lineares. Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.34.

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação decrescente EPT1, EPT8, EPT16, EPT12, EPT7, EPT2, EPT6, EPT10, EPT14, EPT9, EPT13, EPT3 e EPT15.

Os modelos foram ainda ordenados segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.35 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de 10% da altura total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.34: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares

<i>MOD.</i>	<i>IAJ</i>	<i>IP</i>	<i>IC</i>	<i>IORD</i>
<i>EPT1</i>	0.9360**	0.9162**	0.9512	2.803*
<i>EPT2</i>	0.8250	0.7996	0.9981***	2.623
<i>EPT3</i>	0.5021	0.4391	1.0000*	1.941
<i>EPT6</i>	0.8150	0.7908	1.0000*	2.606
<i>EPT7</i>	0.8508	0.8349	0.9620	2.648
<i>EPT8</i>	0.8867****	0.8816****	0.9992**	2.768**
<i>EPT9</i>	0.8418	0.8136	0.6491	2.305
<i>EPT10</i>	0.8403	0.7204	1.0000*	2.561
<i>EPT12</i>	0.8843	0.8524	0.9924	2.729****
<i>EPT13</i>	1.0000*	0.9988*	0.0000	1.999
<i>EPT14</i>	0.7388	0.6979	0.9789	2.416
<i>EPT15</i>	0.0000	0.1503	0.9927****	1.143
<i>EPT16</i>	0.8953***	0.8628****	0.9847	2.743***

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares

<i>CLAS.</i>	<i>MOD.</i>	<i>MÉD.</i>	<i>MIN.</i>	<i>MÁX.</i>	<i>VAR.</i>
10%	<i>EPT1</i>	0.841	-6.203	6.881	3.530
	<i>EPT2</i>	1.388	-4.340	8.697	5.273
	<i>EPT3</i>	0.145	-6.586	7.166	5.579
	<i>EPT6</i>	1.582	-3.927	8.975	5.387

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
10%	EPT7	0.357	-3.081	8.549	4.519
	EPT8	0.704	-4.139	7.840	3.766
	EPT9	1.448	-3.354	8.453	4.485
	EPT10	1.727	-3.162	9.017	4.720
	EPT12	0.757	-6.931	7.036	3.948
	EPT13	0.458	-7.058	5.656	4.075
	EPT14	1.465	-3.686	8.562	5.112
	EPT15	0.730	-17.438	10.878	25.075
EPT16	0.844	-6.859	7.301	4.125	
20%	EPT1	-0.061	-2.314	1.719	0.725
	EPT2	-0.540	-3.539	0.771	1.362
	EPT3	-1.055	-4.552	0.650	1.735
	EPT6	-0.552	-3.543	0.757	1.381
	EPT7	-0.884	-3.317	1.003	0.773
	EPT8	-0.132	-2.892	1.128	1.131
	EPT9	-0.867	-3.596	1.658	1.054
	EPT10	-0.592	-3.176	1.075	0.909
	EPT12	0.191	-2.394	1.507	0.957
	EPT13	0.062	-2.559	1.779	0.517
	EPT14	-1.195	-3.825	0.811	0.975
	EPT15	-0.680	-11.859	5.071	8.418
	EPT16	0.113	-2.531	1.382	0.989

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
30%	EPT1	-0.560	-2.871	2.412	1.072	
	EPT2	-0.549	-3.238	2.518	1.386	
	EPT3	-0.486	-3.295	2.560	1.345	
	EPT6	-0.696	-3.415	2.383	1.474	
	EPT7	-1.026	-3.083	2.133	1.140	
	EPT8	-0.400	-2.975	2.663	1.327	
	EPT9	-0.869	-3.128	2.484	1.353	
	EPT10	-0.713	-2.910	2.604	1.165	
	EPT12	-0.039	-2.477	3.000	1.179	
	EPT13	-0.033	-1.063	0.990	0.233	
	EPT14	-1.435	-3.349	3.056	1.161	
	EPT15	-1.062	-9.311	4.484	7.343	
	EPT16	0.015	-2.395	2.032	1.182	
	40%	EPT1	-0.444	-2.664	1.756	1.024
		EPT2	-0.224	-2.892	2.409	1.296
		EPT3	0.421	-2.396	3.251	1.282
EPT6		-0.475	-3.188	2.138	1.363	
EPT7		-0.644	-2.789	2.772	1.358	
EPT8		-0.257	-2.814	2.355	1.284	
EPT9		-0.573	-2.801	3.326	1.667	
EPT10		-0.438	-2.758	2.748	1.341	
EPT12		0.142	-2.255	2.854	1.195	
EPT13		-0.197	-1.279	0.890	0.257	
EPT14		-1.002	-3.039	2.719	1.188	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
40%	EPT15	0.464	-7.403	4.930	7.592	
	EPT16	0.135	-2.197	2.842	1.588	
50%	EPT1	-0.215	-2.385	2.289	1.260	
	EPT2	0.265	-2.124	3.018	1.391	
	EPT3	1.373	-0.795	4.734	1.656	
	EPT6	0.015	-2.498	2.803	1.379	
	EPT7	-0.220	-2.470	3.718	1.745	
	EPT8	0.106	-2.323	2.843	1.388	
	EPT9	-0.115	-2.561	4.135	1.899	
	EPT10	-0.006	-2.343	3.334	1.582	
	EPT12	0.407	-1.857	3.319	1.419	
	EPT13	-0.384	-1.377	1.186	0.419	
	EPT14	-1.002	-2.458	4.194	2.326	
	EPT15	0.646	-4.152	5.237	4.909	
	EPT16	0.290	-1.978	3.157	1.420	
	60%	EPT1	0.185	-2.205	2.737	1.146
		EPT2	0.689	-1.877	3.832	1.334
		EPT3	2.453	-0.063	6.959	2.102
EPT6		0.455	-2.135	3.552	1.295	
EPT7		0.332	-2.171	4.424	1.868	
EPT8		0.445	-2.174	3.450	1.283	
EPT9		0.391	-2.241	4.753	2.060	
EPT10		0.449	-2.104	4.072	1.601	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
60%	EPT12	0.654	-1.965	3.550	1.314
	EPT13	-0.285	-1.665	1.552	0.521
	EPT14	0.484	-2.344	5.776	2.952
	EPT15	1.294	-2.136	5.529	4.416
	EPT16	0.431	-2.245	3.259	1.266
70%	EPT1	0.382	-1.985	4.248	1.649
	EPT2	0.741	-2.186	5.155	2.020
	EPT3	3.029	0.738	8.871	2.575
	EPT6	0.648	-2.332	5.103	2.016
	EPT7	0.523	-2.348	5.825	2.333
	EPT8	0.528	-2.488	4.872	2.021
	EPT9	0.559	-2.598	6.106	2.549
	EPT10	0.559	-2.427	5.499	2.249
	EPT12	0.526	-2.469	4.750	2.036
	EPT13	-0.134	-2.600	4.451	1.155
	EPT14	1.093	-1.534	7.623	3.188
	EPT15	0.947	-1.820	4.762	2.988
	EPT16	0.314	-2.773	4.470	2.044
80%	EPT1	0.178	-2.718	3.638	1.733
	EPT2	0.363	-2.574	4.117	2.323
	EPT3	2.895	-0.564	8.283	2.667
	EPT6	0.501	-2.386	4.407	2.283

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
80%	EPT7	0.392	-2.750	4.971	2.514	
	EPT8	0.305	-2.549	4.070	2.313	
	EPT9	0.457	-2.679	5.198	2.764	
	EPT10	0.447	-2.574	4.678	2.465	
	EPT12	0.034	-3.071	3.558	2.397	
	EPT13	0.074	-2.276	3.323	1.479	
	EPT14	1.244	-2.522	7.139	3.113	
	EPT15	-0.689	-4.705	2.560	2.152	
	EPT16	0.025	-2.921	3.613	2.361	
90%	EPT1	-0.114	-3.244	4.181	2.272	
	EPT2	0.440	-4.009	4.017	2.798	
	EPT3	2.630	-0.220	7.365	2.363	
	EPT6	0.053	-3.580	4.358	2.571	
	EPT7	0.004	-3.607	4.284	2.556	
	EPT8	-0.227	-3.910	4.095	2.649	
	EPT9	0.024	-3.761	4.289	2.678	
	EPT10	-0.014	-3.708	4.300	2.624	
	EPT12	-0.881	-4.542	3.591	2.956	
	EPT13	-0.204	-3.470	4.054	2.275	
	EPT14	1.426	-1.638	6.044	2.456	
	EPT15	-1.146	-3.150	4.227	2.265	
		EPT16	-0.415	-4.263	3.811	2.655

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.35: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
100%	EPT1	0.1693	-1.099	6.233	0.904
	EPT2	0.1163	-2.190	5.473	0.713
	EPT3	0.3100	0.000	6.952	1.569
	EPT6	0.1767	-1.255	6.215	0.935
	EPT7	0.1743	-1.256	6.202	0.934
	EPT8	0.1578	-1.608	6.095	0.877
	EPT9	0.1762	-1.314	6.205	0.946
	EPT10	0.1715	-1.344	6.183	0.927
	EPT12	0.0892	-2.714	5.319	0.680
	EPT13	0.1463	-1.424	5.684	0.789
	EPT14	0.2670	0.000	6.705	1.345
	EPT15	-0.7080	-2.595	4.872	0.943
	EPT16	0.1727	-1.528	6.485	0.987

Na tabela 4.36 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de 10% da altura total.

Da análise da tabela observamos que o valor dos índices é elevado e não varia grandemente entre os vários modelos, exceção feita ao modelo EPT15. Os modelos que de alguma forma sobressaiem ao longo das várias classes de altura do tronco são a EPT1, EPT2, EPT3, EPT8, EPT12, EPT13 e EPT14 no entanto, em termos globais, o modelo EPT13 é aquele que melhores performances preditivas apresenta ao longo do tronco da árvore, seguindo-se a EPT1, depois a EPT3 e finalmente, as EPT8, EPT12 e EPT14 em *exaequo*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.36: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares, segundo classes de 10% de altura total

MOD.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
EPT1	0.9135	0.9826*	0.9019	0.9130	0.8479	0.8507**	0.8895*	0.8333**	0.8032*	0.7488**
EPT2	0.8880	0.9396	0.8852	0.8955	0.8543	0.8372***	0.8414***	0.8008	0.6462	0.7435***
EPT3	0.8931	0.8957	0.8850	0.9001	0.9013**	0.8356	0.7898	0.7461	0.7762***	0.6637
EPT6	0.8859	0.9390	0.8768	0.8805	0.8350	0.8332	0.8360	0.8040	0.7217	0.7288
EPT7	0.9212**	0.9430	0.8870	0.8844	0.8141	0.8108	0.8167	0.7646	0.7271	0.7306
EPT8	0.9355*	0.9658	0.8957	0.8989	0.8454	0.8330	0.8334	0.8056***	0.6877	0.7190
EPT9	0.9167	0.9250	0.8818	0.8732	0.8014	0.7970	0.7894	0.7514	0.6929	0.7228
EPT10	0.9034	0.9525	0.8933	0.8909	0.8362	0.8218	0.8179	0.7812	0.7068	0.7258
EPT12	0.8954	0.9759***	0.9172***	0.9188***	0.8665***	0.8364	0.8363	0.7888	0.5788	0.7204
EPT13	0.9180***	0.9793**	0.9996*	0.9986*	0.9483*	0.9077*	0.8867**	0.8806*	0.7896**	0.7786*
EPT14	0.9022	0.9754	0.9198**	0.9216**	0.7816	0.7574	0.8279	0.7987	0.6667	0.6810
EPT15	0.4117	0.5336	0.5777	0.5750	0.6056	0.7256	0.8362	0.6987	0.7693	0.4786
EPT16	0.8890	0.9232	0.8699	0.8635	0.8623	0.8325	0.7955	0.6832	0.7580	0.7250

Ordenaram-se ainda os modelos segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.37 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
5cm	EPT1	-0.0545	-1.758	0.951	0.092	
	EPT2	-0.0740	-2.442	0.858	0.175	
	EPT3	0.1130	0.000	2.453	0.154	
	EPT6	-0.0380	-1.773	1.178	0.093	
	EPT7	-0.0640	-1.902	0.975	0.106	
	EPT8	-0.0550	-2.055	1.027	0.122	
	EPT9	-0.0560	-1.932	1.055	0.106	
	EPT10	-0.5406	-1.913	1.076	0.105	
	EPT12	-0.0996	-2.868	0.626	0.248	
	EPT13	-0.0699	-1.993	0.844	0.112	
	EPT14	-0.0170	-1.633	1.393	0.084	
	EPT15	-1.0430	-4.705	-0.167	0.790	
	EPT16	-0.0584	-2.076	0.976	0.123	
	10cm	EPT1	-0.0820	-3.244	6.233	1.539
		EPT2	0.0660	-4.009	5.473	1.641
		EPT3	1.7080	-0.997	6.952	1.977
EPT6		0.2130	-3.580	6.215	1.616	
EPT7		-0.1870	-3.607	6.202	1.719	
EPT8		0.1180	-3.910	6.095	1.678	
EPT9		-0.0530	-3.761	6.205	1.720	
EPT10		0.0010	-3.708	6.183	1.667	
EPT12		-0.0830	-4.542	5.319	1.906	
EPT13		-0.1600	-3.470	5.684	1.315	
EPT14		0.0610	-2.883	6.705	2.886	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
10cm	EPT15	-1.6180	-5.772	4.872	2.110	
	EPT16	0.0605	-4.263	6.485	1.890	
15cm	EPT1	0.0180	-3.066	4.181	1.233	
	EPT2	0.4210	-2.192	4.017	1.383	
	EPT3	1.5600	-1.191	7.365	3.067	
	EPT6	0.3930	-2.332	4.358	1.493	
	EPT7	-0.0840	-2.348	4.284	1.567	
	EPT8	0.1270	-2.488	4.095	1.366	
	EPT9	0.0680	-2.598	4.289	1.638	
	EPT10	0.2160	-2.427	4.300	1.479	
	EPT12	0.4070	-2.676	3.591	1.317	
	EPT13	-0.0200	-2.600	4.054	1.042	
	EPT14	0.2420	-2.743	6.044	2.827	
	EPT15	-0.1570	-4.750	4.227	3.370	
	EPT16	0.3624	-2.773	3.811	1.394	
	20cm	EPT1	0.256	-2.322	4.050	1.968
		EPT2	0.581	-2.246	5.192	2.705
		EPT3	1.295	-2.120	8.283	4.659
EPT6		0.466	-2.513	5.301	2.990	
EPT7		0.116	-2.706	4.971	2.828	
EPT8		0.267	-2.286	4.070	1.681	
EPT9		0.234	-2.801	5.198	3.038	
EPT10		0.428	-2.469	4.888	2.802	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
20cm	EPT12	0.709	-1.857	4.647	1.863
	EPT13	0.113	-2.914	3.323	1.008
	EPT14	0.329	-3.039	7.139	4.653
	EPT15	1.144	-4.508	5.529	2.990
	EPT16	0.642	-1.978	4.865	1.963
25cm	EPT1	0.077	-2.871	4.248	2.125
	EPT2	0.220	-3.240	5.155	4.005
	EPT3	0.450	-3.959	8.871	6.430
	EPT6	0.112	-3.415	5.103	4.254
	EPT7	-0.011	-3.270	5.825	3.820
	EPT8	-0.014	-2.975	4.872	2.365
	EPT9	0.051	-3.404	6.106	4.120
	EPT10	0.249	-3.015	5.499	3.837
	EPT12	0.426	-2.477	4.750	2.442
	EPT13	0.165	-2.469	3.451	0.925
	EPT14	0.329	-3.685	7.623	5.290
	EPT15	1.286	-4.243	6.595	6.430
EPT16	0.377	-2.395	4.470	2.421	
30cm	EPT1	0.259	-4.287	4.319	1.975
	EPT2	-0.044	-3.539	6.222	3.487
	EPT3	-0.609	-4.382	5.646	4.674
	EPT6	-0.046	-3.543	6.442	3.683
	EPT7	0.051	-3.317	5.718	3.228

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
30cm	EPT8	0.010	-2.892	3.762	2.021	
	EPT9	0.068	-3.596	5.857	3.788	
	EPT10	0.269	-3.173	6.344	3.468	
	EPT12	0.186	-2.394	4.827	2.171	
	EPT13	0.112	-3.748	4.121	1.623	
	EPT14	-0.029	-3.825	6.241	4.323	
	EPT15	0.638	-12.891	6.622	15.710	
	EPT16	0.148	9.717	4.821	2.112	
35cm	EPT1	0.343	-4.740	3.976	3.150	
	EPT2	0.084	-3.470	5.487	5.111	
	EPT3	-1.075	-4.809	3.847	4.899	
	EPT6	0.201	-3.442	5.791	5.530	
	EPT7	0.613	-2.684	5.742	4.667	
	EPT8	0.286	-3.048	4.469	3.272	
	EPT9	0.550	-2.928	5.801	5.466	
	EPT10	0.701	-2.793	6.162	5.254	
	EPT12	-0.100	-4.897	3.541	3.307	
	EPT13	0.023	-5.304	3.017	3.448	
	EPT14	0.337	-3.243	5.893	5.596	
	EPT15	0.234	-11.859	7.612	28.010	
	EPT16	-0.114	-5.048	3.419	3.286	
	40cm	EPT1	1.005	-6.203	6.881	10.87
		EPT2	0.528	-4.340	8.697	14.00

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
40cm	EPT3	-1.140	-6.586	7.166	14.65	
	EPT6	0.766	-3.927	8.975	14.17	
	EPT7	1.514	-3.081	8.549	10.65	
	EPT8	1.031	-4.139	7.840	10.75	
	EPT9	1.500	-3.354	8.453	11.36	
	EPT10	1.458	-3.162	9.017	12.27	
	EPT12	-0.075	-6.931	7.036	13.13	
	EPT13	-0.483	-7.058	5.584	12.98	
	EPT14	1.073	-3.686	8.526	12.22	
	EPT15	-2.068	-17.438	10.739	95.65	
	EPT16	0.061	-6.859	7.301	13.50	
	45cm	EPT1	2.021	-0.737	5.063	3.919
		EPT2	3.454	-0.713	6.517	7.551
		EPT3	1.409	-2.378	4.394	7.247
		EPT6	3.803	-0.538	6.899	7.844
		EPT7	4.259	0.267	7.454	6.658
EPT8		3.803	0.414	6.912	5.466	
EPT9		3.721	-0.446	7.080	7.450	
EPT10		4.237	0.000	7.469	7.501	
EPT12		1.752	-1.381	4.302	3.992	
EPT13		2.392	-0.467	5.656	4.917	
EPT14		3.522	-0.620	6.840	7.426	
EPT15		7.583	3.800	10.878	7.170	
EPT16		2.045	-0.663	4.788	4.008	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.37: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
50cm	EPT1	4.641	4.641	4.641	0.000
	EPT2	6.509	6.509	6.509	0.000
	EPT3	4.231	4.231	4.231	0.000
	EPT6	6.919	6.919	6.919	0.000
	EPT7	7.612	7.612	7.612	0.000
	EPT8	7.065	7.065	7.065	0.000
	EPT9	7.032	7.032	7.032	0.000
	EPT10	7.492	7.492	7.492	0.000
	EPT12	4.139	4.139	4.139	0.000
	EPT13	4.304	4.304	4.304	0.000
	EPT14	6.778	6.778	6.778	0.000
	EPT15	9.584	9.584	9.584	0.000
	EPT16	4.670	4.670	4.670	0.000

Na tabela 4.38 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de diâmetro.

Da análise da tabela observamos que o valor dos índices da grande maioria dos modelos é elevado e de ordem de grandeza bastante próxima, exceção feita aos modelos EPT3, EPT14 e EPT15. Os modelos que de alguma forma sobressaem ao longo das várias classes de diâmetro do tronco são a EPT1, EPT8, EPT12, EPT13 e EPT16; no entanto, em termos globais, são os modelos EPT12 e EPT13 aqueles que melhores performances preditivas apresentam ao longo do tronco da árvore.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.38: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares, segundo classes de diâmetro de tronco (5 cm)

MOD.	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
EPT1	0.8511*	0.7235**	0.8519	0.8969	0.9112**	0.9357	0.9252	0.8987	0.8745***	0.9798
EPT2	0.7962	0.7181***	0.8801**	0.8191	0.7922	0.9007	0.9226	0.8988	0.6914	0.9045
EPT3	0.8307	0.6669	0.6323	0.6118	0.5848	0.8587	0.8961	0.8746	0.7398	0.9963**
EPT6	0.8412***	0.6909	0.8514	0.7889	0.7771	0.8937	0.9130	0.8973	0.6719	0.8879
EPT7	0.8365	0.6775	0.8539	0.8066	0.7929	0.9183	0.9365	0.9180**	0.7078	0.8600
EPT8	0.8240	0.6769	0.8710***	0.9174**	0.8870	0.9811	0.9640*	0.9184*	0.7667	0.8820
EPT9	0.8324	0.6748	0.8317	0.7810	0.7681	0.8993	0.9220	0.9131***	0.6872	0.8834
EPT10	0.8329	0.6884	0.8542	0.8128	0.8025	0.9040	0.9203	0.9050	0.6784	0.8648
EPT12	0.7637	0.6632	0.8706	0.9010***	0.8963	0.9706*	0.9294**	0.8908	0.8776*	1.0000*
EPT13	0.8363	0.7733*	0.9035*	0.9557*	0.9935*	0.9604***	0.9256	0.9074	0.8253	0.9933***
EPT14	0.8436**	0.5332	0.6419	0.6192	0.6715	0.8790	0.9141	0.9100	0.6920	0.8936
EPT15	0.3375	0.5337	0.5169	0.6850	0.5925	0.4445	0.4310	0.3834	0.5440	0.7805
EPT16	0.8247	0.6074	0.8518	0.8863	0.9064***	0.9691**	0.9270***	0.8868	0.8756**	0.9786

No caso dos modelos de EPT's *lineares*, apresenta-se na tabela 4.39 as estatísticas calculadas durante a *FASE DE AJUSTAMENTO* e na tabela 4.40 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO* para o único modelo de EPT's *lineares*:

$$\begin{aligned}
 \text{EPT5} \quad d = & b_1 D(H - h)/(H - 1.3) + b_2 (H - h)(h - 1.3) + b_3 H(H - h)(h - 1.3) + \\
 & + b_4 (H - h)(h - 1.3)(H + h + 1.3).
 \end{aligned}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.39: Estatísticas calculadas na FASE DE AJUSTAMENTO - EPT linear

<i>MOD.</i>	<i>QMR</i>	R^2	R^2_{AJ}	<i>PRESS</i>	<i>APRESS</i>	<i>QMARP</i>	<i>MAR</i>	<i>FIVM</i>	<i>NCOND</i>
<i>EPT5</i>	2.6174	0.9759	0.9758	1568.2	617.9	1.0508	1.0395	79.4398	385.1114

TABELA 4.40: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO - EPT linear

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MARP</i>	<i>MQrp</i>	R^2_{rp}	<i>Vrp</i>
<i>EPT5</i>	-15.1738	15.2581	589.0936	0.2084	359.4750

Na tabela 4.41 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de 10% da altura total.

Na tabela 4.42 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.41: Resíduos de predição por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT linear

<i>CLAS.</i>	<i>MOD.</i>	<i>MÉD.</i>	<i>MIN.</i>	<i>MÁX.</i>	<i>VAR.</i>
10%	EPT5	-31.57	-128.94	-1.470	672.8
20%	EPT5	-21.98	-96.42	-2.540	323.0
30%	EPT5	-20.99	-81.530	-2.740	340.0
40%	EPT5	-19.23	-68.02	-1.910	206.4
50%	EPT5	-13.34	-53.28	-1.320	111.3
60%	EPT5	-10.84	-41.51	-1.810	81.8
70%	EPT5	-6.40	-25.76	-0.230	26.3
80%	EPT5	-3.93	-17.52	0.930	13.5
90%	EPT5	-1.75	-7.23	2.190	4.5
100%	EPT5	0.15	-2.26	6.600	1.1

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.42: Resíduos de predição por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT linear

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EPT5	-0.10	-3.14	0.72	0.2
10cm	EPT5	-2.82	-12.46	6.60	7.1
15cm	EPT5	-7.79	-26.04	2.19	20.5
20cm	EPT5	-15.20	-40.32	-2.40	72.4
25cm	EPT5	-24.56	-53.52	-4.19	158.2
30cm	EPT5	-36.19	-107.65	-9.56	373.8
35cm	EPT5	-46.01	-100.00	-17.82	539.8
40cm	EPT5	-62.80	-128.94	-15.95	1794.0
45cm	EPT5	-32.69	-39.54	-23.61	35.9
50cm	EPT5	-34.49	-34.49	-34.49	0.0

Da análise das tabelas 4.32 à 4.38 observamos que o modelo *EPT13* é aquele que apresenta melhor capacidade de ajustamento e o que apresenta as melhores capacidades preditivas ao longo do tronco da árvore no entanto, é também o modelo com os níveis de colinearidade mais elevados, não se tendo destacado na ordenação global. O melhor modelo na ordenação global foi a *EPT1* apresentando o 2º melhor índice de ajustamento e de predição; no entanto, apresenta também níveis de colinearidade elevados. O segundo melhor modelo é a *EPT8* apresentando o 3º melhor índice de

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

ajustamento e de predição e o 2º melhor índice de colinearidade. Este modelo posicionou-se também entre os primeiros, quando da ordenação dos modelos segundo classes de altura total e classes de diâmetro do tronco. Assim, optou-se por seleccionar o modelo *EPT8*.

A selecção final, de entre os modelos não lineares e do modelo linear, recai no modelo *EPT8*, já que o único modelo linear é inferior ao melhor modelo não linear.

4.3.2. EQUAÇÕES DE PERFIL DO TRONCO - PREDIÇÃO DE VOLUMES

Apresentam-se na tabela 4.43 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO*, para os modelos de *EPT's não lineares*, relativamente às predições para o volume total com casca. As estatísticas foram calculadas em termos de volume total *c/c (VT)*.

TABELA 4.43: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO para o volume total *c/c* - *EPT's não lineares*

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	<i>R²rp</i>	<i>Vrp</i>
<i>EPT1</i>	0.0018	0.0189	0.0009	0.9857	0.0010
<i>EPT2</i>	0.0014	0.0210	0.0011	0.9851	0.0011
<i>EPT3</i>	0.0153	0.0226	0.0014	0.9783	0.0012

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.43: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO para o volume total *c/c* - EPT's não lineares
(continuação)

MOD.	M_{rp}	MA_{rp}	MQ_{rp}	R^2_{rp}	V_{rp}
EPT6	-0.0005	0.0212	0.0011	0.9805	0.0011
EPT7	-0.0019	0.0212	0.0015	0.9771	0.0015
EPT8	0.0020	0.0195	0.0011	0.9847	0.0011
EPT9	-0.0008	0.0233	0.0020	0.9697	0.0020
EPT10	0.0031	0.0013	0.0013	0.9802	0.0013
EPT12	0.0060	0.0206	0.0011	0.9847	0.0010
EPT13	-0.0007	0.0015	0.0000	0.9999	0.0000
EPT14	-0.0009	0.0225	0.0017	0.9721	0.0017
EPT15	0.0125	0.0642	0.0148	0.8503	0.0148
EPT16	0.0056	0.0201	0.0011	0.9847	0.0010

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de EPT's não lineares. Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.44.

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação decrescente EPT13, EPT10, EPT1, EPT8, EPT6, EPT2, EPT16, EPT7, EPT12, EPT14, EPT9, EPT3 e EPT15. A EPT13 posicionou-se em 1º lugar, o que seria de esperar, na medida em que este modelo apresenta como uma das suas variáveis independentes o volume total *c/c* observado. Trata-se assim, de um modelo sem interesse para a predição de volumes.

Procedeu-se de igual modo para os modelos lineares. Apresentam-se na tabela 4.45 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a FASE DE VALIDAÇÃO, para o único modelo de EPT's lineares, relativamente às predições para o volume total com casca. As estatísticas foram calculadas em termos de volume total *c/c* (VT).

TABELA 4.44: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares,
relativamente às predições do volume total c/c

<i>MOD.</i>	<i>IP</i>
<i>EPT1</i>	0.9778***
<i>EPT2</i>	0.9756
<i>EPT3</i>	0.9617
<i>EPT6</i>	0.9761
<i>EPT7</i>	0.9726
<i>EPT8</i>	0.9763****
<i>EPT9</i>	0.9688
<i>EPT10</i>	0.9894**
<i>EPT12</i>	0.9725
<i>EPT13</i>	0.9990*
<i>EPT14</i>	0.9712
<i>EPT15</i>	0.8482
<i>EPT16</i>	0.9732

TABELA 4.45: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO para o volume total c/c - EPT linear

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	<i>R²rp</i>	<i>Vrp</i>
<i>EPT5</i>	-1.1431	1.1431	5.7960	-0.0641	4.5517

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relativamente à variável volume total com casca, observamos que o modelo *EPT5* é inferior ao melhor modelo não linear.

Realizou-se também a análise de resíduos relativamente à variável volume mercantil com casca acumulado a partir do solo.

Apresentam-se na tabela 4.46 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO*, para os modelos de *EPT's não lineares*, relativamente às predições para de volumes mercantis com casca. As estatísticas foram calculadas em termos de volumes mercantis *c/c* (*vm*).

TABELA 4.46: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO para os volumes mercantis *c/c* - *EPT's não lineares*

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>MQrp</i>	<i>R²rp</i>	<i>Vrp</i>
<i>EPT1</i>	0.0034	0.0143	0.0006	0.9889	0.0006
<i>EPT2</i>	-0.0062	0.0158	0.0007	0.9883	0.0007
<i>EPT3</i>	0.0007	0.0175	0.0010	0.9829	0.0010
<i>EPT6</i>	-0.0006	0.0162	0.0007	0.9884	0.0007
<i>EPT7</i>	0.0008	0.0161	0.0010	0.9818	0.0010
<i>EPT8</i>	0.0022	0.0147	0.0007	0.9882	0.0007
<i>EPT9</i>	0.0019	0.0178	0.0013	0.9749	0.0013
<i>EPT10</i>	0.0040	0.0009	0.0009	0.9844	0.0008
<i>EPT12</i>	0.0034	0.0152	0.0007	0.9879	0.0007
<i>EPT13</i>	0.0003	0.0071	0.0002	0.9973	0.0002
<i>EPT14</i>	-0.0003	0.0172	0.0011	0.9790	0.0011
<i>EPT15</i>	-0.0044	0.0552	0.0154	0.8397	0.0154
<i>EPT16</i>	0.0038	0.0155	0.0007	0.9880	0.0007

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das estatísticas calculadas realizou-se a ordenação dos modelos de *EPT's não lineares*. Os índices de ordenação podem ser visualizados na tabela 4.47.

TABELA 4.47: Ordenação dos modelos de *EPT's não lineares*,

relativamente às predições de volumes mercantis c/c

<i>MOD.</i>	<i>IP</i>
<i>EPT1</i>	0.9748
<i>EPT2</i>	0.9757***
<i>EPT3</i>	0.9712
<i>EPT6</i>	0.9752****
<i>EPT7</i>	0.9728
<i>EPT8</i>	0.9750
<i>EPT9</i>	0.9671
<i>EPT10</i>	0.9886**
<i>EPT12</i>	0.9730
<i>EPT13</i>	0.9904*
<i>EPT14</i>	0.9713
<i>EPT15</i>	0.8102
<i>EPT16</i>	0.9721

Da análise da tabela verifica-se a seguinte ordenação decrescente *EPT13, EPT10, EPT2, EPT6, EPT8, EPT1, EPT12, EPT7, EPT16, EPT14, EPT3, EPT9 e EPT15*. A *EPT13* posicionou-se novamente em 1º lugar como seria de esperar pelas razões atrás apresentadas.

Os modelos foram ainda ordenados segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.48 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

variável *vm* por classes de 10% da altura total.

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil *c/c* por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
10%	EPT1	0.002066	-0.02180	0.02780	0.0000479	
	EPT2	0.002192	-0.02470	0.03040	0.0000672	
	EPT3	-0.001690	-0.05140	0.02308	0.0000920	
	EPT6	0.002797	-0.02080	0.03290	0.0000680	
	EPT7	0.003436	-0.01542	0.03830	0.0000630	
	EPT8	0.002476	-0.01610	0.03660	0.0000638	
	EPT9	0.003508	-0.01562	0.03380	0.0000600	
	EPT10	0.003943	-0.01472	0.03730	0.0000670	
	EPT12	0.000261	-0.03360	0.02697	0.0000679	
	EPT13	-0.000015	-0.06040	0.03000	0.0001109	
	EPT14	0.003017	-0.01782	0.03180	0.0000560	
	EPT15	-0.000930	-0.24520	0.05910	0.0012700	
	EPT16	0.000426	-0.03080	0.02733	0.0000648	
	20%	EPT1	0.005070	-0.0230	0.0351	0.0000780
		EPT2	0.003480	-0.0371	0.0289	0.0001110
		EPT3	-0.003750	-0.0739	0.0190	0.0002310
EPT6		0.004910	-0.0355	0.0299	0.0001045	
EPT7		0.004303	-0.0274	0.0356	0.0000840	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
20%	EPT8	0.003825	-0.0238	0.0349	0.0000914	
	EPT9	0.004609	-0.0277	0.0424	0.0000910	
	EPT10	0.006390	-0.0258	0.0339	0.0000830	
	EPT12	0.003220	-0.0351	0.0291	0.0001000	
	EPT13	0.002750	-0.0722	0.0336	0.0001700	
	EPT14	0.003505	-0.0332	0.0282	0.0000820	
	EPT15	0.002020	-0.4195	0.0814	0.0036200	
	EPT16	0.003498	-0.0355	0.0291	0.0000991	
30%	EPT1	0.00207	-0.0403	0.0426	0.000181	
	EPT2	-0.00440	-0.0641	0.0158	0.000263	
	EPT3	-0.01295	-0.0933	0.0176	0.000579	
	EPT6	-0.00285	-0.0623	0.0146	0.000264	
	EPT7	-0.00205	-0.0437	0.0387	0.000198	
	EPT8	-0.00093	-0.0484	0.0286	0.000189	
	EPT9	-0.00051	-0.0497	0.0573	0.000253	
	EPT10	0.00096	-0.0463	0.0397	0.000179	
	EPT12	-0.00096	-0.0547	0.0239	0.000211	
	EPT13	-0.00089	-0.0708	0.0355	0.000274	
	EPT14	-0.00414	-0.0564	0.0364	0.000215	
	EPT15	-0.01837	-0.5510	0.0852	0.009700	
		EPT16	-0.00017	-0.0559	0.0250	0.000223
	40%	EPT1	0.00075	-0.0515	0.0520	0.000337
EPT2		-0.00666	-0.0814	0.0263	0.000554	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
40%	EPT3	-0.01679	-0.1051	0.0209	0.000889	
	EPT6	-0.00680	-0.0828	0.0259	0.000565	
	EPT7	-0.00417	-0.0581	0.0546	0.000426	
	EPT8	-0.00176	-0.0647	0.0416	0.000394	
	EPT9	-0.00349	-0.0661	0.0775	0.000604	
	EPT10	-0.00073	-0.0621	0.0556	0.000411	
	EPT12	-0.00017	-0.0649	0.0408	0.000414	
	EPT13	-0.00200	-0.0697	0.0300	0.000299	
	EPT14	-0.00890	-0.0716	0.0514	0.000477	
	EPT15	-0.01161	-0.6449	0.1190	0.018090	
	EPT16	-0.00066	-0.0658	0.0422	0.000414	
	50%	EPT1	-0.00171	-0.0536	0.0645	0.000477
		EPT2	-0.00829	-0.0850	0.0454	0.000636
		EPT3	-0.01198	-0.0959	0.0362	0.000798
		EPT6	-0.00798	-0.0899	0.0421	0.000699
		EPT7	-0.00751	-0.0710	0.0761	0.000640
EPT8		-0.00380	-0.0701	0.0600	0.000537	
EPT9		-0.00551	-0.0715	0.1026	0.000891	
EPT10		-0.00270	-0.0688	0.0768	0.000594	
EPT12		-0.00148	-0.0658	0.0624	0.000515	
EPT13		-0.00089	-0.0653	0.0315	0.000238	
EPT14		-0.00890	-0.0795	0.0732	0.000685	
EPT15		-0.01314	-0.7025	0.1545	0.016260	
EPT16		-0.00008	-0.0680	0.0633	0.000538	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
60%	EPT1	0.00256	-0.0650	0.0770	0.000790	
	EPT2	-0.00424	-0.0935	0.0628	0.000720	
	EPT3	-0.00435	-0.0939	0.0589	0.000730	
	EPT6	-0.00577	-0.0990	0.0574	0.000727	
	EPT7	-0.00141	-0.0815	0.1230	0.001375	
	EPT8	0.00075	-0.0797	0.0758	0.000748	
	EPT9	0.00066	-0.0821	0.1550	0.001985	
	EPT10	0.00254	-0.0795	0.0960	0.001039	
	EPT12	0.00471	-0.0709	0.0804	0.000750	
	EPT13	-0.00196	-0.0560	0.0403	0.000280	
	EPT14	-0.00590	-0.0871	0.1230	0.001411	
	EPT15	-0.02122	-0.7370	0.1559	0.037540	
	EPT16	0.00509	-0.0713	0.0801	0.000735	
	70%	EPT1	0.00431	-0.0721	0.1000	0.000950
		EPT2	-0.00151	-0.0984	0.0804	0.001090
		EPT3	0.00536	-0.0847	0.0940	0.001080
EPT6		-0.00351	-0.1050	0.0736	0.001135	
EPT7		-0.00096	-0.0862	0.1560	0.001473	
EPT8		0.00273	-0.0863	0.0918	0.001042	
EPT9		-0.00055	-0.0868	0.1900	0.002047	
EPT10		0.00361	-0.0845	0.1270	0.001298	
EPT12		0.00673	-0.0767	0.0975	0.001040	
EPT13		-0.00003	-0.0300	0.0491	0.000150	
EPT14		-0.00355	-0.0864	0.1640	0.001591	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
70%	EPT15	0.01188	-0.7310	0.1909	0.022630
	EPT16	0.00648	-0.0788	0.0957	0.001041
80%	EPT1	0.00538	-0.0795	0.1230	0.001640
	EPT2	0.00111	-0.1051	0.1097	0.001790
	EPT3	0.01350	-0.0785	0.1388	0.001950
	EPT6	-0.00030	-0.1114	0.1031	0.001766
	EPT7	0.00276	-0.0918	0.1860	0.002775
	EPT8	0.00480	-0.0937	0.1197	0.001849
	EPT9	0.00612	-0.0924	0.2220	0.003778
	EPT10	0.00783	-0.0905	0.1560	0.002409
	EPT12	0.00838	-0.0853	0.1240	0.001860
	EPT13	0.00052	-0.0160	0.0535	0.000110
	EPT14	0.00344	-0.0859	0.2040	0.003100
	EPT15	-0.01909	-0.7190	0.1786	0.028580
	EPT16	0.00815	-0.0878	0.1210	0.001819
90%	EPT1	0.01128	-0.0618	0.1330	0.00177
	EPT2	0.00485	-0.0717	0.1158	0.00176
	EPT3	0.02553	-0.0451	0.1670	0.00218
	EPT6	0.00289	-0.0779	0.1106	0.00174
	EPT7	0.01006	-0.0699	0.2010	0.00331
	EPT8	0.00998	-0.0631	0.1264	0.00188
	EPT9	0.01191	-0.0742	0.2380	0.00465
	EPT10	0.01365	-0.0630	0.1700	0.00267

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.48: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
90%	EPT12	0.01252	-0.0583	0.1288	0.00187
	EPT13	0.00019	-0.0183	0.0544	0.00011
	EPT14	0.01364	-0.0679	0.2290	0.00396
	EPT15	-0.00987	-0.7180	0.2043	0.04079
	EPT16	0.01205	-0.0619	0.1271	0.00186
100%	EPT1	0.00366	-0.0844	0.1310	0.001040
	EPT2	0.00067	-0.1102	0.1168	0.001180
	EPT3	0.01579	-0.0768	0.1680	0.001340
	EPT6	0.00065	-0.1158	0.1127	0.001191
	EPT7	-0.00039	-0.0959	0.2000	0.001706
	EPT8	0.00336	-0.0988	0.1281	0.001188
	EPT9	0.00102	-0.0965	0.2370	0.002336
	EPT10	0.00473	-0.0948	0.1690	0.001529
	EPT12	0.00568	-0.0916	0.1291	0.001180
	EPT13	0.00017	-0.0068	0.0544	0.000050
	EPT14	0.00089	-0.0865	0.2300	0.001994
	EPT15	0.01138	-0.7150	0.2128	0.016560
	EPT16	0.00686	-0.0884	0.1298	0.001158

Na tabela 4.49 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de 10% da altura total.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.49: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares para o volume mercantil c/c, segundo classes de 10% de altura total

MOD.	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
EPT1	0.9508***	0.9615	0.9645	0.9683**	0.9713**	0.9708**	0.9602**	0.9500**	0.9529	0.9466**
EPT2	0.9387	0.9627	0.9611	0.9569	0.9562	0.9634	0.9568	0.9475	0.9579***	0.9434
EPT3	0.9247	0.9410	0.9203	0.9322	0.9489	0.9642	0.9557	0.9378	0.9397	0.9262
EPT6	0.9326	0.9575	0.9662	0.9562	0.9554	0.9514	0.9552	0.9477***	0.9583**	0.9423
EPT7	0.9235	0.9612	0.9648	0.9589	0.9514	0.9507	0.9413	0.9285	0.9299	0.9270
EPT8	0.9343	0.9655**	0.9710*	0.9655	0.9634	0.9680***	0.9583***	0.9455	0.9545	0.9418***
EPT9	0.9313	0.9538	0.9546	0.9450	0.9423	0.9394	0.9299	0.9126	0.9141	0.9147
EPT10	0.9207	0.9553	0.9661	0.9618	0.9590	0.9593	0.9478	0.9329	0.9393	0.9307
EPT12	0.9530*	0.9654***	0.9702***	0.9677***	0.9676	0.9658	0.9565	0.9441	0.9540	0.9416
EPT13	0.9148	0.9375	0.9554	0.9692*	0.9820*	0.9871*	0.9958*	0.9998*	1.0000*	1.0000*
EPT14	0.9377	0.9672*	0.9549	0.9479	0.9470	0.9441	0.9363	0.9244	0.9195	0.9216
EPT15	0.4607	0.4984	0.4863	0.4937	0.5472	0.5209	0.5913	0.5926	0.5724	0.6261
EPT16	0.9543**	0.9641	0.9707**	0.9661	0.9682***	0.9655	0.9565	0.9443	0.9534	0.9414

Da análise da tabela verifica-se que os índices dos modelos são elevados e de ordem de grandeza que não varia grandemente, exceção feita ao modelo EPT15. Os modelos que sobressaem são as EPT1, EPT8, EPT12, EPT13 e EPT16; no entanto, os modelos EPT13, EPT1 e EPT8 são aqueles que melhores performances preditivas apresentam ao longo do perfil da árvore.

Ordenaram-se ainda os modelos segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.50 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável vm por classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
5cm	EPT1	0.00243	-0.0844	0.1310	0.000863	
	EPT2	-0.00024	-0.1102	0.1168	0.000982	
	EPT3	0.01365	-0.0768	0.1680	0.001062	
	EPT6	-0.00018	-0.1158	0.1127	0.001005	
	EPT7	-0.00226	-0.0959	0.2000	0.001353	
	EPT8	0.00181	-0.0988	0.1281	0.000962	
	EPT9	-0.00132	-0.0965	0.2370	0.001827	
	EPT10	0.00283	-0.0948	0.1690	0.001206	
	EPT12	0.00439	-0.0916	0.1291	0.000954	
	EPT13	0.00031	-0.0068	0.0544	0.000051	
	EPT14	-0.00150	-0.0865	0.2300	0.001579	
	EPT15	0.01585	-0.7158	0.2118	0.013610	
	EPT16	0.00554	-0.0884	0.1298	0.000941	
	10cm	EPT1	0.00358	-0.0795	0.1320	0.000703
		EPT2	0.00204	-0.1051	0.1164	0.000779
		EPT3	0.01081	-0.0785	0.1670	0.000952
EPT6		0.00298	-0.1114	0.1117	0.000778	
EPT7		0.00013	-0.0918	0.2010	0.001163	
EPT8		0.00364	-0.0937	0.1273	0.000799	
EPT9		0.00248	-0.0924	0.2380	0.001568	
EPT10		0.00504	-0.0905	0.1700	0.001025	
EPT12		0.00577	-0.0853	0.1290	0.000791	
EPT13		0.00126	-0.0078	0.0544	0.000043	
EPT14		0.00033	-0.0859	0.2290	0.001373	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
10cm	EPT15	-0.00229	-0.7180	0.1774	0.010920	
	EPT16	0.00717	-0.0878	0.1280	0.000784	
15cm	EPT1	0.00172	-0.0721	0.1330	0.000618	
	EPT2	-0.00049	-0.0984	0.1097	0.000663	
	EPT3	0.00383	-0.0847	0.1630	0.000801	
	EPT6	-0.00085	-0.1050	0.1031	0.000677	
	EPT7	-0.00203	-0.0862	0.2010	0.000978	
	EPT8	0.00078	-0.0863	0.1250	0.000657	
	EPT9	-0.00077	-0.0868	0.2370	0.001279	
	EPT10	0.00238	-0.0845	0.1700	0.000836	
	EPT12	0.00377	-0.0767	0.1270	0.000653	
	EPT13	0.00150	-0.0229	0.0535	0.000080	
	EPT14	-0.00195	-0.0864	0.2250	0.001147	
	EPT15	0.00803	-0.7160	0.2043	0.009510	
	EPT16	0.00403	-0.0788	0.1230	0.000641	
	20cm	EPT1	0.00341	-0.0650	0.1230	0.000615
		EPT2	-0.00054	-0.0935	0.0974	0.000718
		EPT3	-0.00216	-0.0939	0.1380	0.000924
EPT6		-0.00156	-0.0990	0.0903	0.000722	
EPT7		0.00035	-0.0815	0.1860	0.001028	
EPT8		0.00194	-0.0797	0.1130	0.000700	
EPT9		0.00174	-0.0821	0.2220	0.001399	
EPT10		0.000411	-0.0795	0.1560	0.000892	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
20cm	EPT12	0.00473	-0.0709	0.1190	0.000711
	EPT13	0.00108	-0.0239	0.0403	0.000099
	EPT14	-0.00073	-0.0871	0.2040	0.001168
	EPT15	-0.00158	-0.7190	0.1909	0.012890
	EPT16	0.00439	-0.0713	0.1140	0.000702
25cm	EPT1	0.00347	-0.0536	0.1000	0.000630
	EPT2	-0.00423	-0.0850	0.0670	0.000760
	EPT3	-0.01157	-0.0959	0.0940	0.001000
	EPT6	-0.00513	-0.0899	0.0574	0.000765
	EPT7	0.00189	-0.0710	0.1560	0.001147
	EPT8	0.00055	-0.0701	0.0870	0.000700
	EPT9	0.00264	-0.0715	0.1900	0.001677
	EPT10	0.00333	-0.0688	0.1270	0.000952
	EPT12	0.00149	-0.0658	0.0940	0.000710
	EPT13	0.00078	-0.0470	0.0300	0.000250
	EPT14	-0.00073	-0.0795	0.1640	0.001305
	EPT15	-0.01928	-0.7370	0.1545	0.024800
EPT16	0.00094	-0.0680	0.0900	0.000704	
30cm	EPT1	0.00634	-0.0515	0.0578	0.000350
	EPT2	-0.00125	-0.0814	0.0301	0.000391
	EPT3	-0.01265	-0.1051	0.0231	0.000594
	EPT6	-0.00086	-0.0828	0.0311	0.000400
	EPT7	0.00628	-0.0581	0.0922	0.000505

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
30cm	EPT8	0.00402	-0.0647	0.0416	0.000324
	EPT9	0.00630	-0.0661	0.1225	0.000847
	EPT10	0.00640	-0.0621	0.0681	0.000432
	EPT12	0.00122	-0.0649	0.0410	0.000338
	EPT13	-0.00166	-0.0653	0.0355	0.000390
	EPT14	0.00249	-0.0716	0.0850	0.000557
	EPT15	-0.02574	-0.7280	0.1559	0.025900
EPT16	0.00110	-0.0658	0.0422	0.000345	
35cm	EPT1	0.00556	-0.02300	0.03030	0.000181
	EPT2	-0.00305	-0.03590	0.02420	0.000298
	EPT3	-0.01601	-0.07800	0.00740	0.000666
	EPT6	-0.00191	-0.03380	0.02710	0.000302
	EPT7	0.00714	-0.01820	0.03720	0.000222
	EPT8	0.00324	-0.02220	0.03490	0.000199
	EPT9	0.00714	-0.02700	0.06060	0.000349
	EPT10	0.00553	-0.01950	0.03390	0.000191
	EPT12	-0.00250	-0.03510	0.02190	0.000197
	EPT13	-0.00570	-0.07220	0.03360	0.000673
	EPT14	0.00257	-0.02600	0.02550	0.000180
	EPT15	-0.04483	-0.64490	0.11170	0.032060
	EPT16	-0.00189	-0.03550	0.02320	0.000196
	40cm	EPT1	0.00273	-0.02180	0.02780
EPT2		-0.00034	-0.02470	0.03040	0.000293

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.	
40cm	EPT3	-0.01113	-0.0514	0.0142	0.000518	
	EPT6	0.00119	-0.0208	0.0329	0.000281	
	EPT7	0.00696	-0.0119	0.0383	0.000216	
	EPT8	0.00410	-0.0161	0.0366	0.000261	
	EPT9	0.00619	-0.0139	0.0338	0.000189	
	EPT10	0.00574	-0.0126	0.0373	0.000224	
	EPT12	-0.00466	-0.0336	0.0224	0.000336	
	EPT13	-0.00570	-0.0604	0.0300	0.000658	
	EPT14	0.00341	-0.0166	0.0318	0.000200	
	EPT15	-0.02097	-0.2452	0.0687	0.000822	
	EPT16	-0.00351	-0.0308	0.0245	0.000329	
	45cm	EPT1	0.001488	-0.00104	0.00501	0.0000045
		EPT2	0.003050	0.00128	0.00635	0.0000036
		EPT3	-0.001523	-0.01630	0.00438	0.0000568
		EPT6	0.003752	0.00150	0.00669	0.0000039
		EPT7	0.005263	0.00152	0.01210	0.0000148
EPT8		0.004690	0.00126	0.01060	0.0000118	
EPT9		0.003892	0.00136	0.00690	0.0000050	
EPT10		0.004880	0.00155	0.00990	0.0000098	
EPT12		0.000117	-0.00620	0.00430	0.0000137	
EPT13		0.001587	-0.00065	0.00557	0.0000048	
EPT14		0.003448	0.00130	0.00660	0.0000038	
EPT15		0.011410	0.00300	0.03830	0.0001800	
EPT16		0.001013	-0.00290	0.00476	0.0000073	

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.50: Resíduos de predição para o volume mercantil *c/c* por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT's não lineares (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
50cm	EPT1	0.00493	0.00493	0.00493	0.00000
	EPT2	0.00677	0.00677	0.00677	0.00000
	EPT3	0.00451	0.00451	0.00451	0.00000
	EPT6	0.00717	0.00717	0.00717	0.00000
	EPT7	0.00782	0.00782	0.00782	0.00000
	EPT8	0.00730	0.00730	0.00730	0.00000
	EPT9	0.00727	0.00727	0.00727	0.00000
	EPT10	0.00771	0.00771	0.00771	0.00000
	EPT12	0.00442	0.00442	0.00442	0.00000
	EPT13	0.00459	0.00459	0.00459	0.00000
	EPT14	0.00703	0.00703	0.00703	0.00000
	EPT15	0.00962	0.00962	0.00962	0.00000
	EPT16	0.00496	0.00496	0.00496	0.00000

Na tabela 4.51 apresentam-se os índices de ordenação dos modelos obtidos em cada classe de diâmetro.

Da análise da tabela verifica-se que os índices dos modelos são elevados e de ordem de grandeza que não varia grandemente, exceção feita ao modelo EPT15. Os modelos EPT1, EPT2, EPT3, EPT8, EPT12, EPT13, EPT14 e EPT16 destacam-se como os melhores, embora sejam os modelos EPT13, EPT1, EPT12 e EPT8 que no global melhores performances preditivas apresentam ao longo do perfil da árvore.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.51: Ordenação dos modelos de EPT's não lineares para o volume mercantil *c/c*, segundo classes de diâmetro de tronco (5cm)

MOD.	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
EPT1	0.9483**	0.9471**	0.9583**	0.9521**	0.9580	0.9630	0.9751	0.9602*	0.9816**	0.9743
EPT2	0.9445	0.9438	0.9560	0.9516***	0.9539	0.9692	0.9767	0.9592**	0.9629***	0.8816
EPT3	0.9282	0.9256	0.9420	0.9364	0.9316	0.9429	0.9387	0.9055	0.7329	0.9955**
EPT6	0.9434	0.9411	0.9544	0.9499	0.9533	0.9690	0.9785	0.9583	0.9532	0.8614
EPT7	0.9261	0.9299	0.9345	0.9330	0.9375	0.9492	0.9707	0.9454	0.9290	0.8286
EPT8	0.9441***	0.9425***	0.9563***	0.9509	0.9595**	0.9674	0.9780	0.9506	0.9410	0.8549
EPT9	0.9161	0.9148	0.9261	0.9200	0.9248	0.9346	0.9565	0.9511	0.9438	0.8564
EPT10	0.9337	0.9300	0.9427	0.9364	0.9445	0.9555	0.9750	0.9493	0.9365	0.8342
EPT12	0.9434	0.9415	0.9544	0.9485	0.9578	0.9720**	0.9798***	0.9425	0.9102	1.0000*
EPT13	0.9998*	0.9981*	0.9983*	0.9927*	0.9837*	0.9724*	0.9505	0.8937	0.9858*	0.9915***
EPT14	0.9222	0.9239	0.9279	0.9254	0.9334	0.9526	0.9819*	0.9591***	0.9590	0.8685
EPT15	0.6292	0.6548	0.6424	0.6323	0.5586	0.4732	0.3715	0.3781	0.7861	0.7379
EPT16	0.9431	0.9385	0.9542	0.9501	0.9588***	0.9715***	0.9804**	0.9473	0.9557	0.9728

Procedeu-se de igual modo para os modelos *lineares*. Apresentam-se na tabela 4.52 as estatísticas calculadas através da validação cruzada durante a *FASE DE VALIDAÇÃO*, para o único modelo de EPT's *lineares*, relativamente às predições para o volume mercantil com casca acumulado a partir do solo. As estatísticas foram calculadas em termos de volume mercantil *c/c* (*vm*).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.52: Estatísticas calculadas na FASE DE VALIDAÇÃO para o volume total c/c - EPT linear

<i>MOD.</i>	<i>M_{rp}</i>	<i>MA_{rp}</i>	<i>MQ_{rp}</i>	<i>R²_{rp}</i>	<i>V_{rp}</i>
<i>EPT5</i>	-1.1115	1.1115	6.0380	-0.0589	4.8110

O modelo foi ainda avaliado segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de 10% da altura total. Na tabela 4.53 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de 10% da altura total.

TABELA 4.53: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT linear

<i>CLAS.</i>	<i>MOD.</i>	<i>MÉD.</i>	<i>MIN.</i>	<i>MÁX.</i>	<i>VAR.</i>
10%	<i>EPT5</i>	-0.244	-4.02	0.000	0.336
20%	<i>EPT5</i>	-0.445	-6.92	-0.005	0.970
30%	<i>EPT5</i>	-0.950	-9.12	-0.009	2.919
40%	<i>EPT5</i>	-1.356	-10.75	-0.009	4.670
50%	<i>EPT5</i>	-1.287	-11.91	-0.019	4.785

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.53: Resíduos de predição para o volume mercantil c/c por classes de 10% da altura total - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT linear (continuação)

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
60%	EPT5	-1.873	-13.19	-0.036	9.966
70%	EPT5	-1.600	-13.48	-0.052	6.201
80%	EPT5	-1.909	-13.61	-0.033	9.308
90%	EPT5	-2.283	-13.68	-0.131	11.140
100%	EPT5	-1.260	-13.68	-0.014	5.314

Avaliou-se ainda o modelo segundo os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de diâmetro do tronco segundo a amplitude de 5 cm. Na tabela 4.54 apresentam-se os valores médio, mínimo, máximo e variância dos resíduos de predição relativos à variável *vm* por classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.54: Resíduos de predição para o volume mercantil *c/c* por classes de diâmetro do tronco (5 cm) - valores médio, mínimo, máximo e variância - EPT linear

CLAS.	MOD.	MÉD.	MIN.	MÁX.	VAR.
5cm	EPT5	-1.0628	-13.683	-0.014	4.170
10cm	EPT5	-0.8935	-13.676	-0.005	4.211
15cm	EPT5	-0.8837	-13.662	0.000	3.231
20cm	EPT5	-1.2050	-13.608	-0.001	4.558
25cm	EPT5	-1.5714	-13.475	-0.001	7.527
30cm	EPT5	-1.3880	-12.686	-0.002	6.931
35cm	EPT5	-1.3832	-10.754	-0.007	7.497
40cm	EPT5	-0.8152	-4.023	-0.011	1.516
45cm	EPT5	-0.1158	-0.486	-0.010	0.033
50cm	EPT5	-0.0530	-0.053	-0.053	0.000

Da análise das tabelas 4.52 a 4.54 observamos que o modelo linear EPT5 é inferior aos melhores modelos não lineares.

Da análise global das tabelas 4.43 a 4.54 observamos que a capacidade preditiva das EPT's testadas, quer ao nível dos diâmetros *c/c* quer subsequentemente dos volumes *c/c*, é bastante boa à excepção dos modelos EPT15 e EPT5. Verifica-se também que de uma boa capacidade preditiva para a reconstituição do perfil do tronco, decorre também uma boa capacidade preditiva de volumes. De

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

facto, observando a hierarquização dos modelos nas tabelas 4.34, 4.36, 4.38, 4.44, 4.47, 4.49 e 4.51, verifica-se que os bons modelos na reconstituição do perfil são também os bons modelos na predição de volumes e os maus modelos na reconstituição do perfil são também os maus modelos na predição de volumes. O modelo *EPT13*, posicionado sempre entre os melhores, usa como uma das suas variáveis independentes o volume total *c/c* da árvore; logo, será de esperar que apresente uma boa capacidade preditiva para os volumes. Este facto por si só, leva-nos a considerar que este modelo não é o mais adequado a utilizar para a predição de volumes já que se necessita de conhecer à priori o volume total *c/c* da árvore. Outro aspecto a considerar é o seu elevado nível de colinearidade. O modelo *EPT1*, posicionado também entre os melhores, apresenta também um nível de colinearidade elevado. O modelo *EPT8*, posicionado igualmente entre os melhores, é aquele que se mostra com características de ajustamento, predição de diâmetros *c/c* e de volumes *c/c* e nível de colinearidade mais satisfatórias, recaindo a nossa selecção sobre este modelo.

4.4. ANÁLISE DOS MODELOS SELECIONADOS

Apresenta-se em seguida uma tabela resumo relativa aos modelos eleitos com o propósito de realçar e comparar a capacidade preditiva de cada um destes, em termos globais e ao longo do tronco, quer segundo classes de altura relativa do tronco quer segundo classes de diâmetro do tronco.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.55: Estatísticas de predição - tabela resumo para os modelos eleitos

MOD.	M _{rp}	MA _{rp}	V _{rp}										
	M _{rp}	classes	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
	V _{rp}	classes	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
	M _{rp}	classes	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	
	V _{rp}	classes	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm	
EV3	0.0020m ³	0.0207m ³	0.0012	resíduos em VT c/c									
EVP4	-0.0002m ³	0.0057m ³	0.0001	resíduos em vm c/c									
				0.00179	0.00431	-0.00212	-0.00267	-0.00484	-0.00500	-0.00126	0.00017	0.00068	-0.0000400
				0.00008	0.00012	0.00023	0.00028	0.00023	0.00024	0.00080	0.00002	0.00012	0.0000002
				0.00005	0.00105	0.00014	-0.00148	-0.00184	-0.00077	-0.00174	0.00775	0.00056	0.00250
				0.00000	0.00000	0.00003	0.00006	0.00024	0.00041	0.00058	0.00029	0.00004	0.00000
EVP10	-0.0058m ³	0.0009m ³	0.0020	resíduos em vm c/c									
				-0.02121	-0.01033	-0.00992	-0.00123	0.00418	0.00423	0.00233	-0.00014	-0.00115	-0.000006
				0.00217	0.000974	0.000872	0.000739	0.000615	0.000239	0.000253	0.00005	0.0000035	0.000000
				-0.00002	0.00080	0.00083	0.00066	-0.00628	-0.01645	-0.03931	-0.07940	-0.0192	0.00890
				0.00000	0.00001	0.000064	0.000357	0.000857	0.001757	0.001748	0.01037	0.000942	0.00000

/.../

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.55: Estatísticas de predição - tabela resumo para os modelos eleitos (continuação)

<i>MOD.</i>	<i>Mrp</i>	<i>MArp</i>	<i>Vrp</i>									
	<i>Mrp</i>	<i>classes</i>	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	<i>Vrp</i>	<i>classes</i>	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
	<i>Mrp</i>	<i>classes</i>	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
	<i>Vrp</i>	<i>classes</i>	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm	35cm	40cm	45cm	50cm
<i>EPT8</i>	0.1719cm	0.9571cm	2.0275	<i>resíduos em d c/c</i>								
			0.708	-0.132	-0.400	-0.257	0.106	0.445	0.528	0.305	-0.227	0.158
			3.766	1.131	1.327	1.284	1.388	1.283	2.021	2.313	2.649	0.877
			-0.055	0.118	0.127	0.267	-0.014	0.010	0.286	1.031	3.803	7.065
			0.122	1.678	1.366	1.681	2.365	2.021	3.272	10.750	5.466	0.000
<i>EPT8</i>	0.0020m ³	0.0195m ³	0.0011	<i>resíduos em VT c/c</i>								
			0.002476	0.003825	-0.00093	-0.00176	-0.00380	0.00075	0.00273	0.00480	0.00998	0.00336
			0.000638	0.000914	0.000189	0.000394	0.000537	0.000748	0.001042	0.001849	0.00188	0.001188
			0.00181	0.00364	0.00078	0.00194	0.00055	0.00402	0.00324	0.00410	0.00469	0.00730
			0.000962	0.000799	0.000657	0.000700	0.000700	0.000324	0.000199	0.000261	0.0000188	0.00000

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise da tabela 4.55 podemos observar que os resíduos em diâmetro do tronco *c/c* obtidos da aplicação da *EPT8* são bastante baixos e praticamente sem significado prático. Também os resíduos em volume total com casca resultantes da aplicação da *EV3* e os obtidos através da cubagem rigorosa segundo a reconstituição do perfil do tronco através da aplicação da *EPT8* são da mesma ordem de grandeza, sendo as estimativas de um modo geral obtidas por defeito. Tal aspecto pode resultar da boa capacidade da *EPT8* em descrever o perfil do tronco. Relativamente aos resíduos em volume mercantil com casca, observamos que a *EVP4* (tipo *Rh*) produz resíduos de maior ordem de grandeza absoluta, embora a dispersão destes seja menor e compensando-se em média melhor do que os resíduos produzidos pela *EVP10* (tipo *Rd*). Este último modelo não se comportou muito bem para as classes de diâmetro do tronco de 5cm e 15 cm. Os resíduos em volume mercantil com casca obtidos através da cubagem rigorosa segundo a reconstituição do perfil do tronco através da aplicação da *EPT8* são de maior grandeza absoluta, embora a sua dispersão seja pequena e em média os resíduos se compensem a níveis idênticos ao da *EVP10*. É de salientar, no entanto, que as predições obtidas da aplicação das *EVP's* são predominantemente por excesso ao contrário das da *EPT8*.

Da observação dos gráficos de resíduos tradicionais (conjunto de validação - autovalidação) e os gráficos de resíduos de predição, em termos globais e ao longo do tronco, quer segundo classes de altura relativa do tronco quer segundo classes de diâmetro do tronco para os modelos eleitos podemos ter uma percepção mais clara do que atrás foi referido (figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5).

Salienta-se da observação da figura 4.1 a) que os resíduos tradicionais aumentam à medida que o volume total *c/c* da árvore é maior. No entanto, avaliando em termos relativos e do ponto de vista prático, um resíduo grande em árvores grandes não tem o mesmo significado se este ocorresse numa árvore pequena. Um aspecto que pode ter tido influência neste tipo de desenvolvimento dos resíduos tradicionais foi o tipo de amostragem realizada que não é a mais adequada, já que a

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

amplitude de variabilidade dos dados deveria estar representada com a mesma intensidade de amostragem o que não se verificou. De facto, as árvores de maior porte estão mais fracamente representadas que as árvores pequenas e médias.

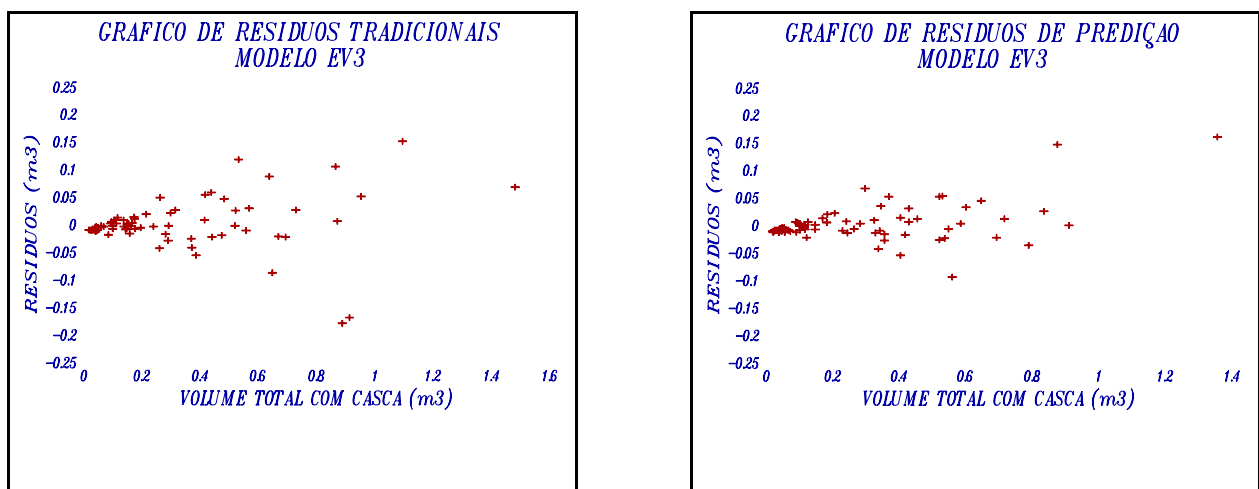


FIGURA 4.1: a) Gráfico de resíduos tradicionais para VT c/c - EV3; b) Gráfico de resíduos de predição para VT c/c - EV3.

Chama-se à atenção que os gráficos das figuras que se seguem apenas apresentam homogeneidade de escalas dentro de cada figura. De figura para figura as escalas adoptadas foram aquelas que proporcionavam uma melhor visualização da dispersão dos resíduos observados.

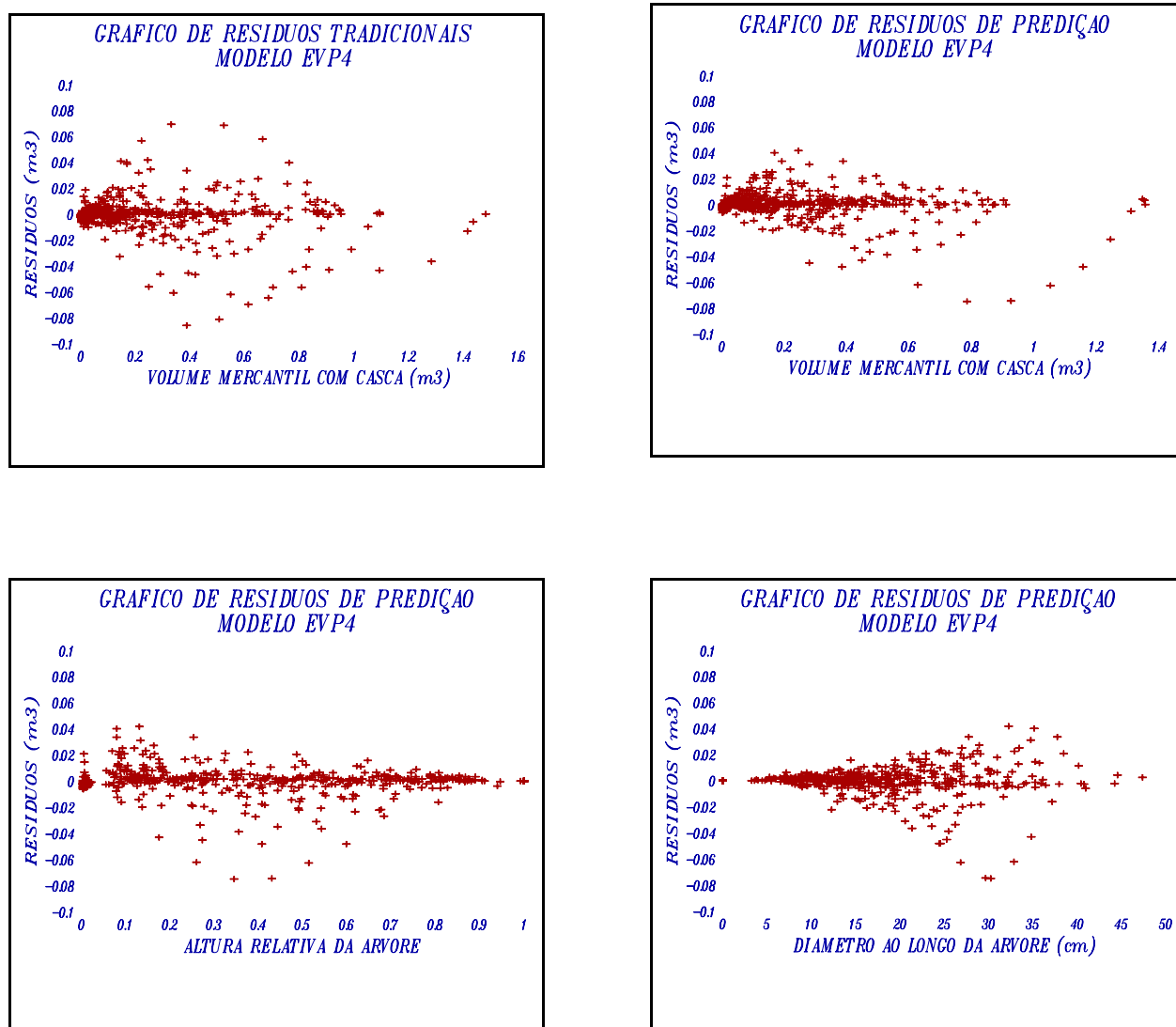


FIGURA 4.2: a) Gráfico de resíduos tradicionais para *vm c/c* - EVP4; b) Gráfico de resíduos de predição para *vm c/c* - EVP4; c) Gráfico de resíduos de predição para *vm c/c* segundo a altura relativa - EVP4; d) Gráfico de resíduos de predição para *vm c/c* segundo o diâmetro do tronco - EVP4.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

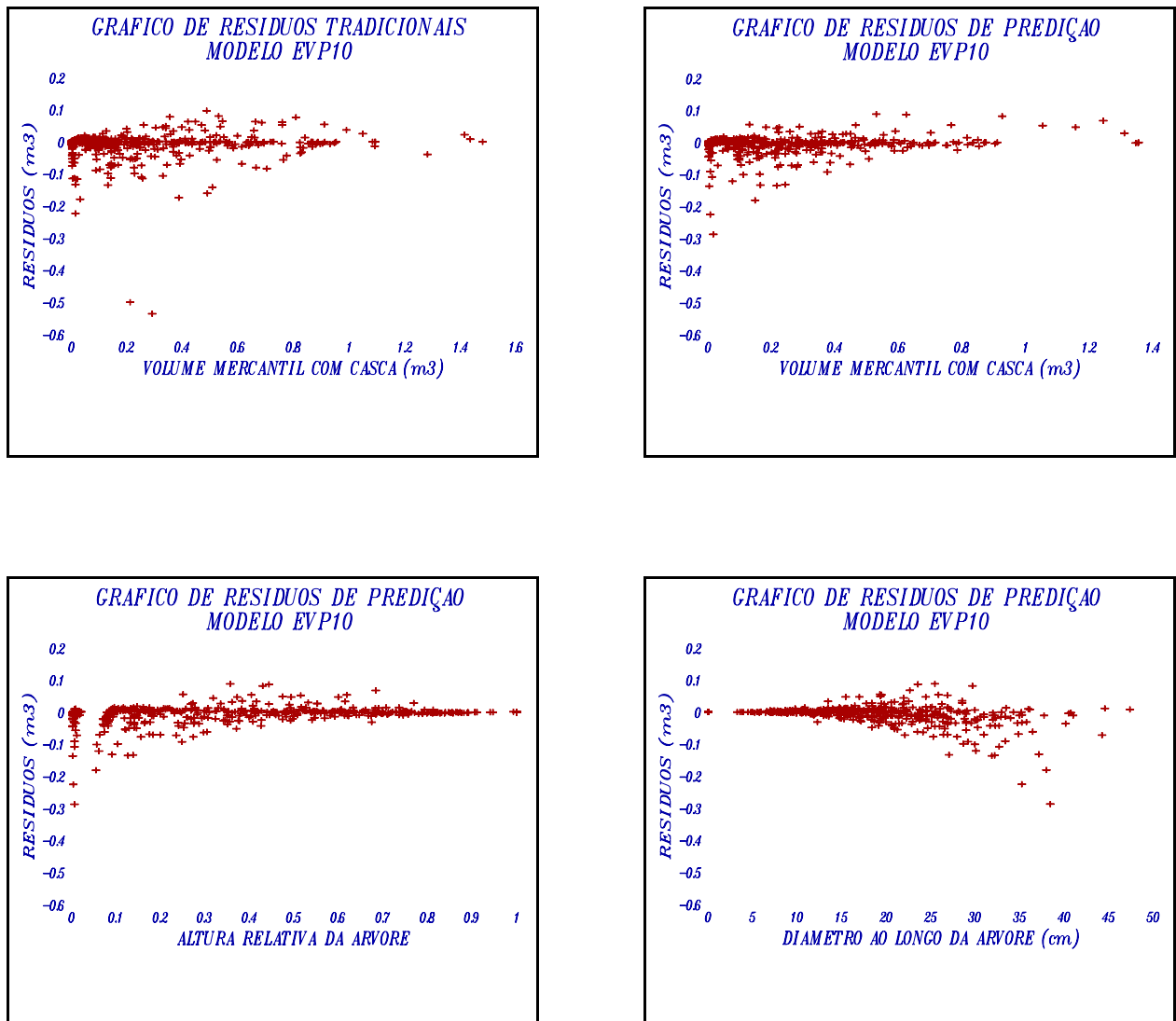


FIGURA 4.3: a) Gráfico de resíduos tradicionais para vm c/c - EVP10; b) Gráfico de resíduos de predição para vm c/c - EVP10; c) Gráfico de resíduos de predição para vm c/c segundo a altura relativa - EVP10; d) Gráfico de resíduos de predição para vm c/c segundo o diâmetro do tronco - EVP10.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

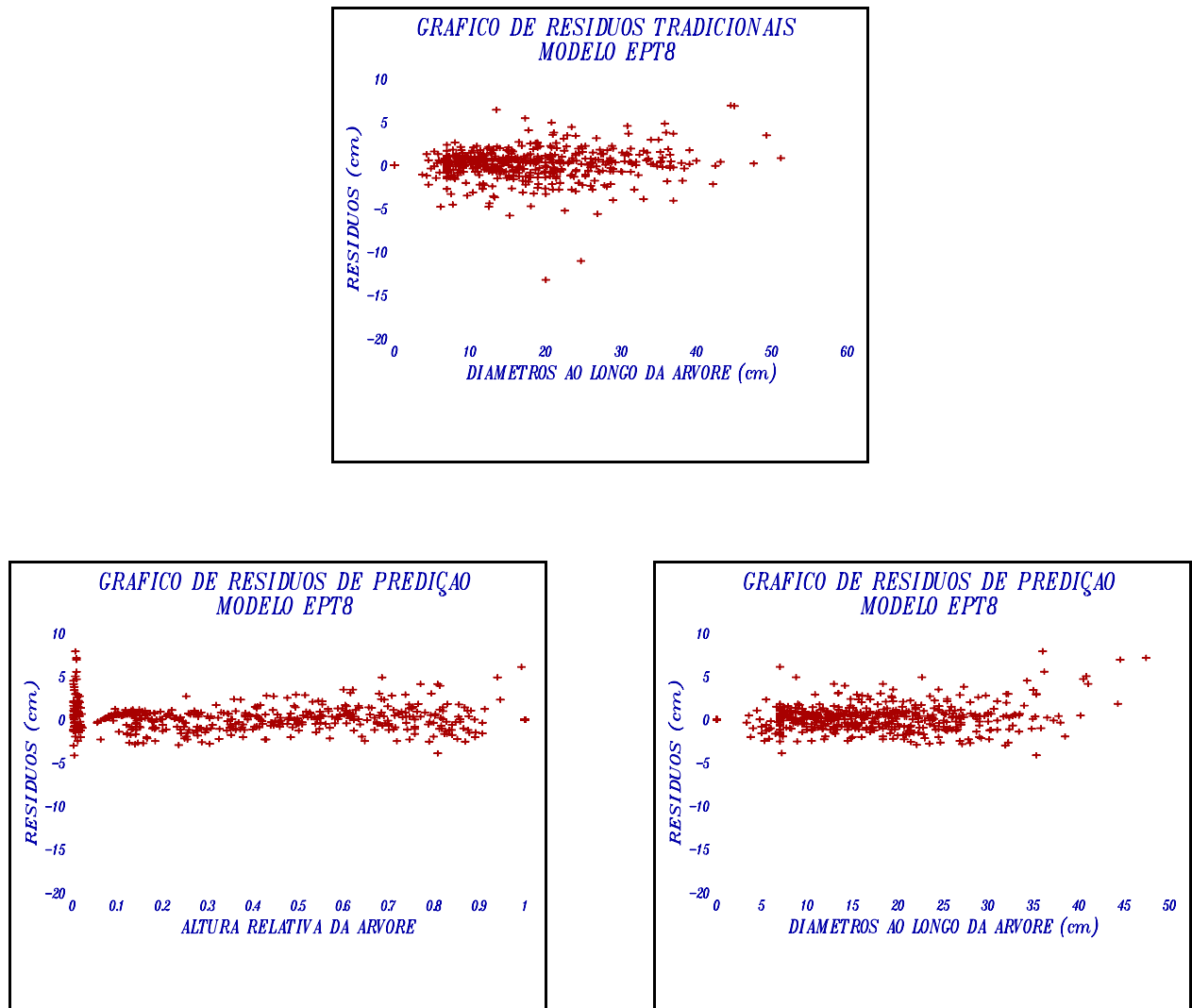


FIGURA 4.4: a) Gráfico de resíduos tradicionais em diâmetro do tronco c/c - EPT8; b) Gráfico de resíduos de predição em diâmetro do tronco c/c segundo a altura relativa- EPT8; c) Gráfico de resíduos de predição em diâmetro do tronco c/c segundo o diâmetro do tronco - EPT8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

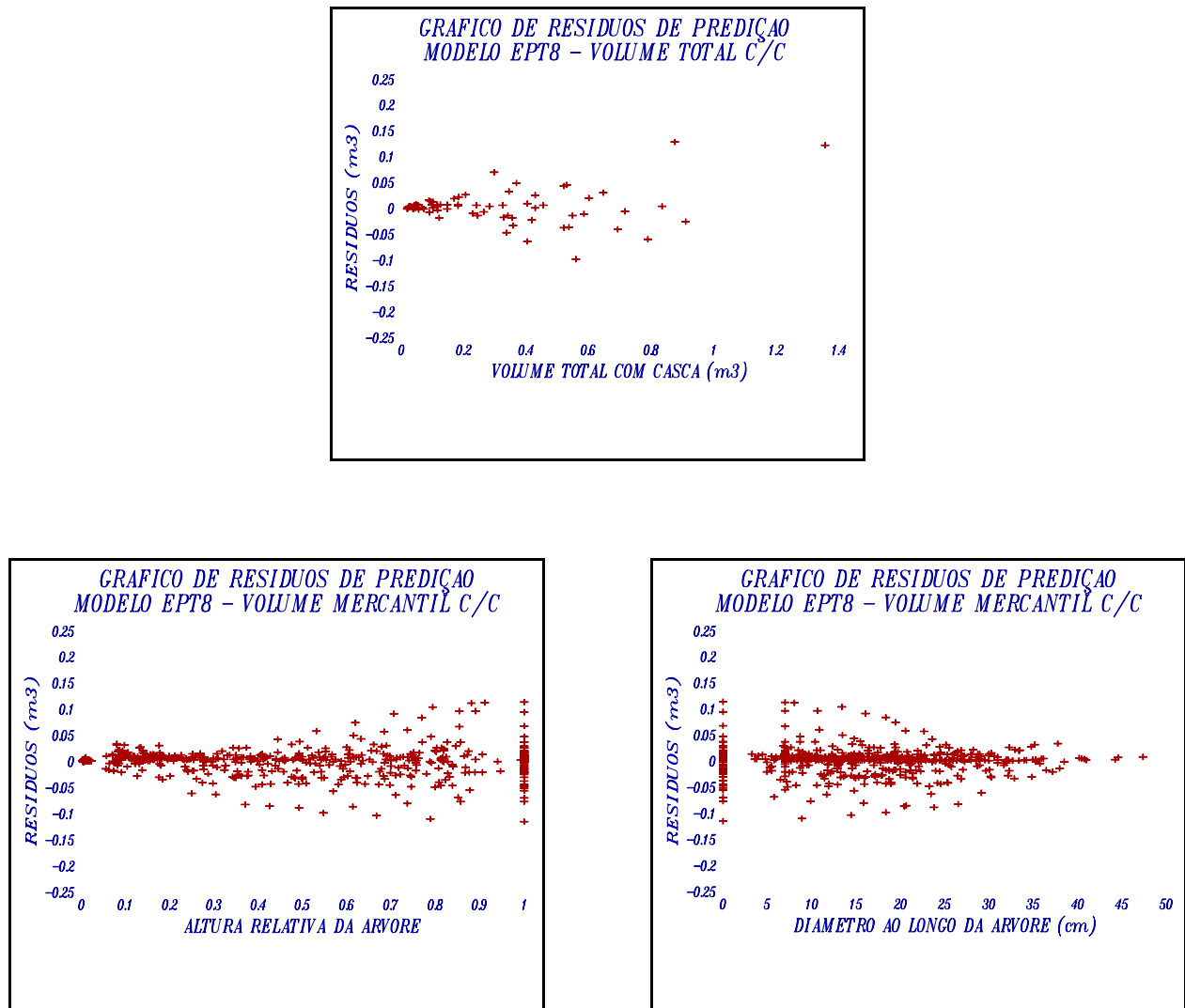


FIGURA 4.5: a) Gráfico de resíduos de predição para o VT c/c - EPT8; b) Gráfico de resíduos de predição para vm c/c segundo a altura relativa - EPT8; c) Gráfico de resíduos de predição para vm c/c segundo o diâmetro do tronco - EPT8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se em seguida as equações ajustadas para o modelo *EV3* com o conjunto de ajustamento e com o conjunto global dos dados.

$$VT = 0.01626 + 0.000034661 D^2 H \quad \text{AJUST.}$$

$$VT = 0.01177 + 0.000035319 D^2 H \quad \text{GLOBAL}$$

As estatísticas de ajustamento, R^2 e QMR , e de predição, MAR , obtidas para cada uma destas equações estão expressas na tabela que se segue.

TABELA 4.56: Estatísticas de ajustamento e predição - *EV3*

<i>DADOS</i>	R^2	QMR	MAR	$N^{\circ}OBSERV.$
<i>AJUST.</i>	97.6	0.0022	0.0272	73
<i>GLOBAL</i>	97.9	0.0017	0.0232	146

Apresentam-se em seguida as equações ajustadas para o modelo *EVP4* com o conjunto de ajustamento e com o conjunto global dos dados.

$$R = 1 + [-0.834 (H - h)^{2.4188} / H^{2.3557}] \quad \text{AJUST.}$$

$$R = 1 + [-0.8084 (H - h)^{2.44923} / H^{2.3744}] \quad \text{GLOBAL}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estatísticas de ajustamento, R^2 e QMR , e de predição, MAR , obtidas para cada uma destas equações estão expressas na tabela que se segue.

TABELA 4.57: Estatísticas de ajustamento e predição - EVP4

<i>DADOS</i>	R^2	QMR	MAR	$N^{\circ}OBSERV.$
<i>AJUST.</i>	99.3	0.0008	0.0069	588
<i>GLOBAL</i>	99.3	0.0008	0.0064	1164

Apresentam-se em seguida as equações ajustadas para o modelo *EVP10* com o conjunto de ajustamento e com o conjunto global dos dados.

$$R = \exp[-1.4109 (d/D)^{4.4482}] \quad \text{AJUST.}$$

$$R = \exp[-1.3923 (d/D)^{4.4379}] \quad \text{GLOBAL}$$

As estatísticas de ajustamento, R^2 e QMR , e de predição, MAR , obtidas para cada uma destas equações estão expressas na tabela que se segue.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.58: Estatísticas de ajustamento e de predição - EVP10

DADOS	R^2	QMR	MAR	NºOBSERV.
AJUST.	94.6	0.0064	0.0177	588
GLOBAL	95.4	0.0055	0.0160	1164

Apresentam-se em seguida as equações ajustadas para o modelo EPT8 com o conjunto de ajustamento e com o conjunto global dos dados.

$$d = D [2400(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{77.6078} + 1.1025134((H - h)/H)^{1.397422}]^{0.5} \text{ AJUST.}$$

$$d = D [2400.49(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{74.9701} + 1.112139((H - h)/H)^{1.40299}]^{0.5} \text{ GLOBAL}$$

As estatísticas de ajustamento, R^2 e QMR, e de predição, MAR, obtidas para cada uma destas equações estão expressas na tabela que se segue.

TABELA 4.59: Estatísticas de ajustamento e predição - EPT8

DADOS	R^2	QMR	MAR	NºOBSERV.
AJUST.	97.3	2.9043	1.0801	588
GLOBAL	97.6	2.4750	1.0117	1164

Da análise das tabelas 4.56 a 4.59 observamos uma melhoria dos parâmetros de ajustamento e predição quando se procede ao ajustamento dos modelos eleitos ao conjunto de dados global. Saliente-se no entanto, que os valores obtidos para as estimativas são semelhantes em ambos os casos o que demonstra a inexistência de colinearidade, tal como se pretendia.

4.5. SISTEMA DE EQUAÇÕES COMPATÍVEIS

O sistema de equações compatíveis seleccionado foi o S8. A partir dos coeficientes de regressão da EV3 (a_0 e a_1) determinaram-se os coeficientes da EPT8 de forma a assegurar a compatibilidade do sistema. Estes foram definidos pelas equações que se seguem

$$b_0 = a_0(m_1 + 1)/(\Pi/40000)$$

$$b_1 = m_1$$

$$b_2 = a_1(m_2 + 1)/(\Pi/40000)$$

$$b_3 = m_2$$

Os parâmetros livres m_1 e m_2 foram determinados por regressão não linear.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.60: Estatísticas de ajustamento e predição e parâmetros livres - S8

DADOS	R^2	QMR	MAR	NºOBSERV.	m1	m2
AJUST.	96.5	3.817	1.2801	588	2396	1.5122
GLOBAL	96.7	3.410	1.1905	1164	2396	1.51837

Em seguida apresentam-se as equações do sistema ajustadas para o conjunto de ajustamento e para o conjunto de validação.

$$VT = 0.01626 + 0.000034661 D^2 H$$

$$d = D [496248(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{2396} + 1.109((H - h)/H)^{1.512} J^{0.5}] \text{ AJUST.}$$

$$VT = 0.01177 + 0.000035319 D^2 H$$

$$d = D [359215(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{2396} + 1.132((H - h)/H)^{1.518} J^{0.5}] \text{ GLOBAL}$$

O ajustamento da EPT8 quer para o conjunto de dados de ajustamento quer para o conjunto de dados global revelou singularidade. Desta forma, optimizamos o quadrado médio dos resíduos em volume total com casca e sub-optimizamos o quadrado médio dos resíduos em diâmetro do tronco com casca. Comparando as tabelas 4.60 e 4.59 verificamos que houve perda na capacidade de ajustamento e predição da EPT8 quanto sujeita às restrições para se assegurar a compatibilidade do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Assim, realizou-se também o ajustamento do sistema condicionando os coeficientes da *EV3*

(a_0 e a_1) a partir dos coeficientes da *EPT8*. Ou seja,

$$a_0 = (\Pi/40000)b_0 / (b_1 + 1)$$

$$a_1 = (\Pi/40000)b_2 / (b_3 + 1)$$

Em seguida apresentam-se as equações do sistema ajustadas para o conjunto de ajustamento e para o conjunto de validação.

$$VT = 0.002398 + 0.00003612 D^2 H \quad \text{AJUST.}$$

$$d = D [2400 (1/(D^2 H))((H - h)/H)^{77.6078} + 1.1025134 ((H - h)/H)^{1.397422}]^{0.5}$$

$$VT = 0.002482 + 0.00003635 D^2 H \quad \text{GLOBAL}$$

$$d = D [2400.49(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{74.9701} + 1.112139((H - h)/H)^{1.40299}]^{0.5}$$

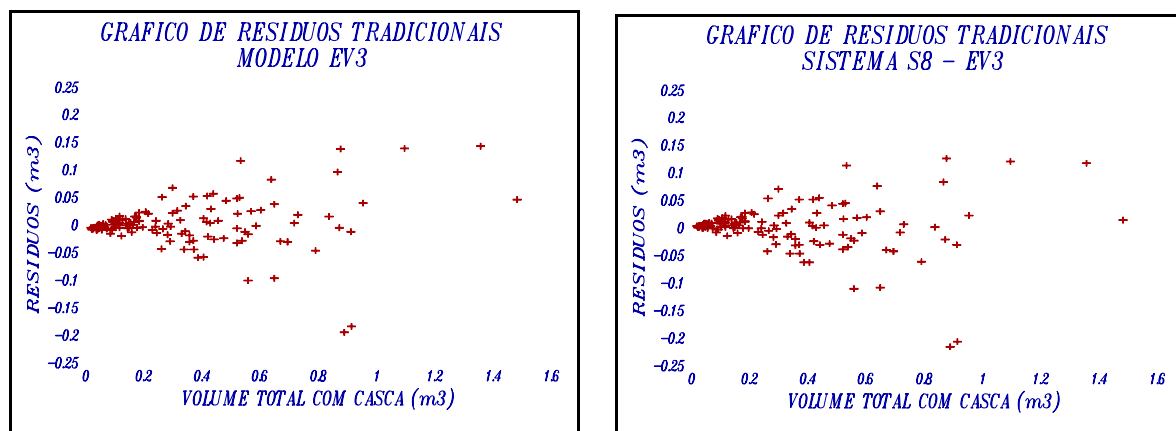
Desta forma, optimizamos o quadrado médio dos resíduos em diâmetro do tronco com casca e sub-optimizamos o quadrado médio dos resíduos em volume total com casca.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

TABELA 4.61: Estatística de predição - S8

DADOS	MAR	NºOBSERV.
AJUST.	0.0270	588
GLOBAL	0.0235	1164

Comparando as tabelas 4.61 e 4.56 verificamos que o parâmetro de predição *MAR* não se modificou significativamente quando a *EV3* foi sujeita às restrições para se assegurar a compatibilidade do sistema. Os gráficos de resíduos para o conjunto de dados global confirmam esta observação (figura 4.6).

**FIGURA 4.6:** a) Gráfico de resíduos tradicionais - EV3; b) Gráfico de resíduos tradicionais - EV3 - S8

5. CONCLUSÕES

Este estudo confirmou que as equações de perfil de tronco descritas sobre a forma de polinómios de grau elevado apresentam boa performance preditiva (p.e. *EPT1* e *EPT13*), conforme verificou Biging (1984), assim como os polinómios segmentados (p.e. *EPT12*) conforme observaram Byrne e Reed (1986) (tabelas 4.36 e 4.38). No entanto, estes modelos apresentam uma elevada colinearidade, característica esta indesejável. De facto, os polinómios *EPT1* e *EPT13* apresentaram boa capacidade preditiva, embora também uma elevada colinearidade, motivo da sua exclusão.

Da análise de resíduos efectuada confirmou-se a má capacidade preditiva e de ajustamento dos modelos que se apresentaram com singularidade justificando a sua eliminação à partida. Por esta razão, não se apresentaram os valores das estatísticas, índices e resíduos para esses modelos.

Relativamente à hierarquização dos modelos obtida neste estudo é de realçar uma certa consonância comparativamente com outros estudos realizados por outros autores (Tomé, 1991; Cao *et al.*, 1980; Biging, 1984) e para outras espécies e regiões (respectivamente, *Eucalyptus globulus* Labill., Portugal; *Pinus taeda* L., USA, povoamentos mistos de coníferas, USA). Seleccionaram estes autores os modelos *EV1*, *EVP3*, *EVP4*, *EVP5*, *EVP6*, *EVP10*, *EPT8*, *EPT12* e *EPT16*. É de referir também que alguns autores americanos usaram antes a *EV3* como equação de volume em vez da *EV1* (p.e. Burkhart, 1977; Deusen *et al.*, 1981). De facto, todos os modelos agora referidos apresentaram-se posicionados entre os primeiros lugares neste estudo. Por exemplo, os modelos *EV1* e *EV3*, os modelos *EVP4* e *EVP5*, os modelos *EVP10* e *EVP6*, os modelos *EPT1*, *EPT8*, *EPT16* e *EPT12*, disputaram os 1^{os} lugares entre si. Este aspecto pode ser considerado de bastante interesse na medida em que em futuros estudos se poderá restringir grandemente o leque de modelos candidatos a analisar.

O principal motivo que levou à eleição dos modelos *EV3*, *EVP4*, *EVP10* e *EPT8*, em detrimento dos outros modelos atrás referidos, esteve na base dos seus níveis de colinearidade aspecto que não foi tido em conta pelos autores estrangeiros. As equações ajustadas para os modelos eleitos apresentam-se em seguida, respectivamente

$$EV3 \quad VT = 0.01177 + 0.000035319 D^2 H$$

$$EVP4 \text{ } Rh \quad R = 1 + [-0.8084(H - h)^{2.44923} / H^{2.3744}]$$

$$EVP10 \text{ } Rd \quad R = \exp[-1.3923(d/D)^{4.4379}]$$

$$EPT8 \quad d = D [2400.49(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{74.9701} + 1.112139((H - h)/H)^{1.40299}]^{0.5}$$

É aconselhável recorrer à *EV3* quando pretendamos apenas estimar volumes totais com casca. É aconselhável recorrer à *EVP4* (tipo *Rh*) em conjugação com a *EV3* caso pretendamos obter volumes mercantis com casca. É aconselhável recorrer à *EPT8* quando se pretenda apenas a reconstituição do perfil do tronco, p.e. determinar diâmetros do tronco a determinadas alturas de despona ou de utilização do lenho ou vice-versa, i.e. determinar alturas do tronco a determinados diâmetros de despona ou de utilização do lenho. O recurso à *EVP10* (tipo *Rd*) em conjugação com a *EV3* para a predição de volumes mercantis com casca apresenta rigor semelhante quando se recorre à *EPT8* para a reconstituição do perfil do tronco e subsequente cubagem rigorosa. O recurso à *EVP4* (tipo *Rh*) em conjugação com a *EV3* é preferível à *EPT8*, para a reconstituição do perfil do tronco e subsequente cubagem rigorosa, na predição de volumes mercantis com casca pela facilidade de aplicação e rigor das estimativas.

Neste estudo, optou-se por realizar o ajustamento de apenas um sistema de equações

compatíveis já que segundo Byrne e Reed (1986) o factor primordial para a boa performance de um sistema de equações compatíveis depende da boa performance das equações suas constituintes particularmente, da sua equação de perfil de tronco. Este aspecto, foi também observado por Tomé (1991). Cao *et al.* (1980) e Byrne e Reed (1986) observaram também uma perda de precisão da equação de perfil de tronco na predição de diâmetros do tronco para assegurar que esta seja compatível. De facto, no presente estudo verifica-se que no ajustamento do sistema compatível há perda de performances da equação de perfil de tronco devido à imposição de restrições aos respectivos coeficientes de regressão por forma a assegurar a compatibilidade do sistema. Por este motivo, não é aconselhável optar pela utilização da *EPT8* compatível do sistema *S8* dada a perda da sua precisão quando se pretenda apenas realizar a reconstituição do perfil do tronco. As equações ajustadas para o sistema *S8* são as seguintes,

$$EV3 \quad VT = 0.01177 + 0.000035319 D^2 H$$

$$EPT8 \text{ compatível } d = D [359215 (1/(D^2 H))((H - h)/H)^{2.396} + 1.132 ((H - h)/H)^{1.518}]^{0.5}.$$

É de recorrer ao sistema *S8* apenas quando se pretenda predições simultâneas de volumes mercantis com casca, volume total com casca e diâmetros do tronco com casca. Caso contrário, existem modelos que estimam estas variáveis *per si* com maior eficiência.

Outra possibilidade de aplicação, quando se pretendam predições simultâneas de volumes mercantis com casca, volume total com casca e diâmetros do tronco com casca, é recorrer à *EVP4* (tipo *Rh*) em conjugação com a *EV3*, caso se conheçam as alturas de despona pretendidas, pois que as equações de volume percentual permitem estimar volumes de porções de lenho compreendidas entre dois diâmetros ou alturas de despona (p.e. limites de aproveitamento do lenho) por subtracção dos respectivos volumes mercantis com casca a partir do solo.

Tem interesse prático o uso conjugado da equação de perfil de tronco com a equação de volume percentual em função de uma altura de despona, permitindo a 1ª equação a pesquisa das alturas de despona segundo determinada toragem e segundo diâmetros limites para o aproveitamento do lenho e a 2ª equação a avaliação de uma forma expedita dos volumes com casca por classes de aproveitamento do tronco. Para este efeito, será necessário dispor de uma equação de volume compatível para este sistema de equações. Assim se realizou o ajustamento do sistema *S8* tornando a *EV3* compatível. As equações do sistema *S8* são as seguintes,

$$EV3 \text{ compatível} \quad VT = 0.002482 + 0.00003635 D^2 H$$

$$EVP4 \text{ Rh} \quad R = 1 + [-0.8084(H - h)^{2.44923} / H^{2.3744}]$$

$$EVP10 \text{ Rd} \quad R = \exp[-1.3923(d/D)^{4.4379}]$$

$$EPT8 \quad d = D [2400.49(1/(D^2 H))((H - h)/H)^{74.9701} + 1.112139((H - h)/H)^{1.40299}]^{0.5}.$$

É de salientar que as equações de volume percentual são em si já equações compatíveis à equação de volume ajustada havendo, assim apenas que assegurar a compatibilidade desta com a equação de perfil do tronco.

É possível, também recorrer apenas à *EPT8* deste sistema para a reconstituição do perfil do tronco segundo determinada toragem para a estimativa dos diâmetros que definem a classes de aproveitamento do lenho e proceder à cubagem rigorosa para avaliação dos volumes com casca por classes de aproveitamento do tronco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRIA, C. M. M. 1990. Análise de Funções de Crescimento. Aplicação do Método de Análise de Tronco a Povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. na Região de Castelo Branco. Trabalho da disciplina de Biometria do Curso de Mestrado em Produção Vegetal do ano lectivo de 1989/90. ISA/UTL, Lisboa.
- AMIDON, E. L. 1984. A General Taper Functional Form to Predict Bole Volume for Five Mixed-conifer Species in California. *For. Sci.*, **30**: 166-171. (cit. in BYRNE J. C. e D.D. REED, 1986).
- AVERY, T. E. e H. E. BURKHART. 1983. *Forest Measurements*. 3ªed. McGraw-Hill Book Company, New York.
- BENNETT, F. A. e B. F. SWINDEL. 1972. Taper Curves for Planted Slash Pine. *U.S.D.A. For. Serv., Res. Note SE- 179*. (cit. in TOMÉ, J. A., 1991; PARRESOL, B. R. *et al.*, 1987).
- BIGING, G. S. 1984. Taper Equations for Second-growth Mixed Conifers of Northern California. *For. Sci.*, **30**: 1103-1117.
- BRISTER, G. H., J. L. CLUTTER e T. M. SKINNER. 1980. Tree Volume and Taper Functions for Site-prepared Plantations of Slash Pine. *So. J. Appl. For.* **4** (3): 139-142. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).
- BRUCE, D., R. O. CURTIS e C. VANCOEVERING. 1968. Development of a System of Taper and Volume Tables for Red Alder. *For. Sci.* **14**: 339-350. (cit. in BYRNE J. C. e D. D. REED, 1986; CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).

- BURKHART, H. E. 1977. Cubic Foot Volume of Loblolly Pine to Any Merchantable Top Diameter. *So. J. Appl. For.* **1** (2): 7-9.
- BYRNE J. C. e D. D. REED. 1986. Complex Compatible Taper and Volume Estimation for Red and Loblolly Pine. *For. Sci.* **32** (2): 423-443.
- CAO, Q. V., H. E. BURKHART e T. A. MAX. 1980. Evaluation of Two Methods for Cubic Volume Prediction of Loblolly Pine to Any Merchantable Limit. *For. Sci.* **26**: 71-80.
- CLUTTER, J. L. 1980. Development of Taper Functions from Variable-top Merchantable Volume Equations. *For. Sci.* **26**: 117-120. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983; LYNCH, T. B., 1986).
- CLUTTER, J. L., J. C. FORTSON, L. V. PIENAAR, G. H. BRISTER e R. L. BAILEY. 1983. *Timber Management. A Quantitative Approach*. John Wiley & Sons, New York.
- COMISSÃO NACIONAL DO AMBIENTE. 1982. Atlas da Comissão Nacional do Ambiente. Carta Hipsométrica. Lisboa.
- DEMAERSCHALK, J. P. 1971. Taper Equations can be converted to Volume Equations and Point Sampling Factors. *For. Chron.* **47**: 352-354.
- DEMAERSCHALK, J. P. 1972. Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations. *For. Sci.* **18**: 241-245.
- DEMAERSCHALK, J. P. 1973. Integrated Systems for the Estimation of Tree Taper and Volume. *Can. J. For. Res.* **3**: 90-94.
- DEMAERSCHALK, J. P., A. KOZAK. 1977. The Whole-bole System: a conditioned dual-equation System for precise prediction. *Can. J. For. Res.* **7**: 488-497. (cit. in BIGING, G. S., 1984).

- DGF. 1993. Áreas Florestais por Distritos. *Estudos e Informação* **303**, Lisboa.
- DGSFA. 1969. Tabelas. Lisboa.
- DEUSEN, P. C. V., A. D. SULLIVAN e T. G. MATNEY. 1981. A Prediction System for Cubic Foot Volume of Loblolly Pine Applicable through Much of Its Range. *So. J. Appl. For.* **5**: 186-189.
- GENSTAT5 COMMITTEE. 1987. *GENSTAT5. Reference Manual*. Clarendon Press, Oxford.
- GOULDING, C. J. e J. C. MURRAY. 1976. Polynomial Taper Equations that are Compatible with Tree Volume Equations. *N. Z. J. For. Sci.* **5**: 313-322. (cit. in CAO, Q. V. *et al.*, 1980; BIGING, G. S., 1984).
- DRAPER, N. R. e H. SMITH. 1981. *Applied Regression Analysis*. 2ª ed. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- GRÁCIO, C. J. 1990. Aplicação do Método de Análise de Tronco a povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton. no Distrito de Castelo Branco. Relatório do Trabalho de Fim do Curso de Produção Florestal. IPCB/ESA, Castelo Branco.
- GREEN, E. J. e D. D. REED. 1985. Compatible Tree Volume and taper Functions for Pitch Pine. *North. J. Appl. For.* **2** (1): 14-16. (cit. in BYRNE J. C. e D. D. REED, 1986).
- HONER, T. G. 1964. The Use of Height and Square Diameter Ratios for the Estimation of Cubic Foot Volume. *For. Chron.* **49**: 324-331. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).
- HONER, T. G. 1965. A New Total Cubic Foot Volume Function. *For. Chron.* **41**: 476-493. (cit. in TOMÉ, J. A., 1991).

- HONER, T. G. 1967. Standard Volume Tables and Merchantable Conversion Factors for the Comercial Tree species of Central and Eastern Canada. *For. Manage. Res. and Serv. Inst. Inform Rep.* FMR-X-5, 21p + Apendices. Ottawa, Ontario. (cit. in CAO, Q. V. *et al.*, 1980).
- HUSCH, B., C. I. MILLER e T. W. BEERS. 1982. *Forest Mensuration*. 3ªed. Jonh Wiley & Sons Inc., New York.
- KOZAK, A., D. D. MUNRO e J. H. G. SMITH. 1969. Taper Functions and their Application in Forest Invenctory. *For. Chron.* **45**: 278-283.
- KNOEBEL, B. R., H. E. BURKHART e D. E. BECK. 1984. Stem Volume and Volume Taper Functions for Yellow-poplar in the Southern Appalachians. *South. J. Appl. For.* **8**: 185-188. (cit. in LYNCH, T. B., 1986).
- LOETSCH, F., F. ZOHRER e K. E. HALLER. 1973. *Forest Invenctory*. Vol. II. BLV Verlagsgesellschaft mbH, Munchen.
- LYNCH, T. B. 1986. total Cubic Volume Equations Implied by Diameter-Based Merchantable to Total Volume Ratio Models. *For. Sci.* **32** (1): 262-267.
- MATNEY, T. G. e A. D. SULLIVAN. 1982. Variable Top Volume and Height Predictors for Slash Pine Trees. *Forest Sci.* **28**: 274-282. (cit. in PARRESOL, B. R. *et al.*, 1987; LYNCH, T. B., 1986).
- MARTIN, A. J. 1981. Taper and Volume Equations for Selected Appalachian Hardwoods Species. *USDA Forest Serv. Res. Pap. NE- 490*, 22p. (cit. in BYRNE J. C. e D. D. REED., 1986).

- MAX, T. A., H. E. BURKHART. 1976. Segmented Polynomial Regression Applied to Taper Equations. *For. Sci.* **22**: 283-289. (cit. in CAO, Q. V. *et al.*, 1980; BIGING, G. S., 1984).
- McTAGUE, J. P. e R. L. BAILEY. 1987. Simultaneous Total and Merchantable Volume Equations and a Compatible Taper Function for Loblolly Pine. *Can. J. For. Res.* **17**: 87-92.
- MEYER, H. A. 1953. *Forest Mensuration*. Pennsylvania, 357 pp. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- MYERS, R. H. 1986. *Classical and Modern Regression With Applications*. 2^aed. PWS-KEN Publishing Company, Boston.
- MUNRO D. D. e J. P. DEMAERSCHALK. 1974. Taper-based versus Volume-based compatible Estimation Systems. *For. Chron.* **50** (5): 1-3. (cit. in BIGING, G. S., 1984).
- NASLUNG, M. 1947. Functions and Tables for Computing the Cubic Volume of Standing Trees. *Medd. Stat. Skogsforsoksanst* **36**, 3: 1-53. Swed. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- NASLUNG, M. e E. HAGBERG. 1950. Volume Tables for Pine, Spruce and Birch in Southern Sweden. *Stat. Skogsforskn. Inst.*, 200 pp. Sweden. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- NASLUNG, M. e E. HAGBERG. 1951. Volume Tables for Pine, Spruce and Birch in Northern Sweden. *Stat. Skogsforskn. Inst.*, 153 pp. Sweden. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- OGAYA, N. 1968. *Kubierungsformeln und Bestandesmassenformeln*. Thesis, univ. Freiburg i. Br., 85 pp. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- ORMEROD, D. W. 1973. A Simple Bole Model. *For. Chron.* **49**: 136-138.

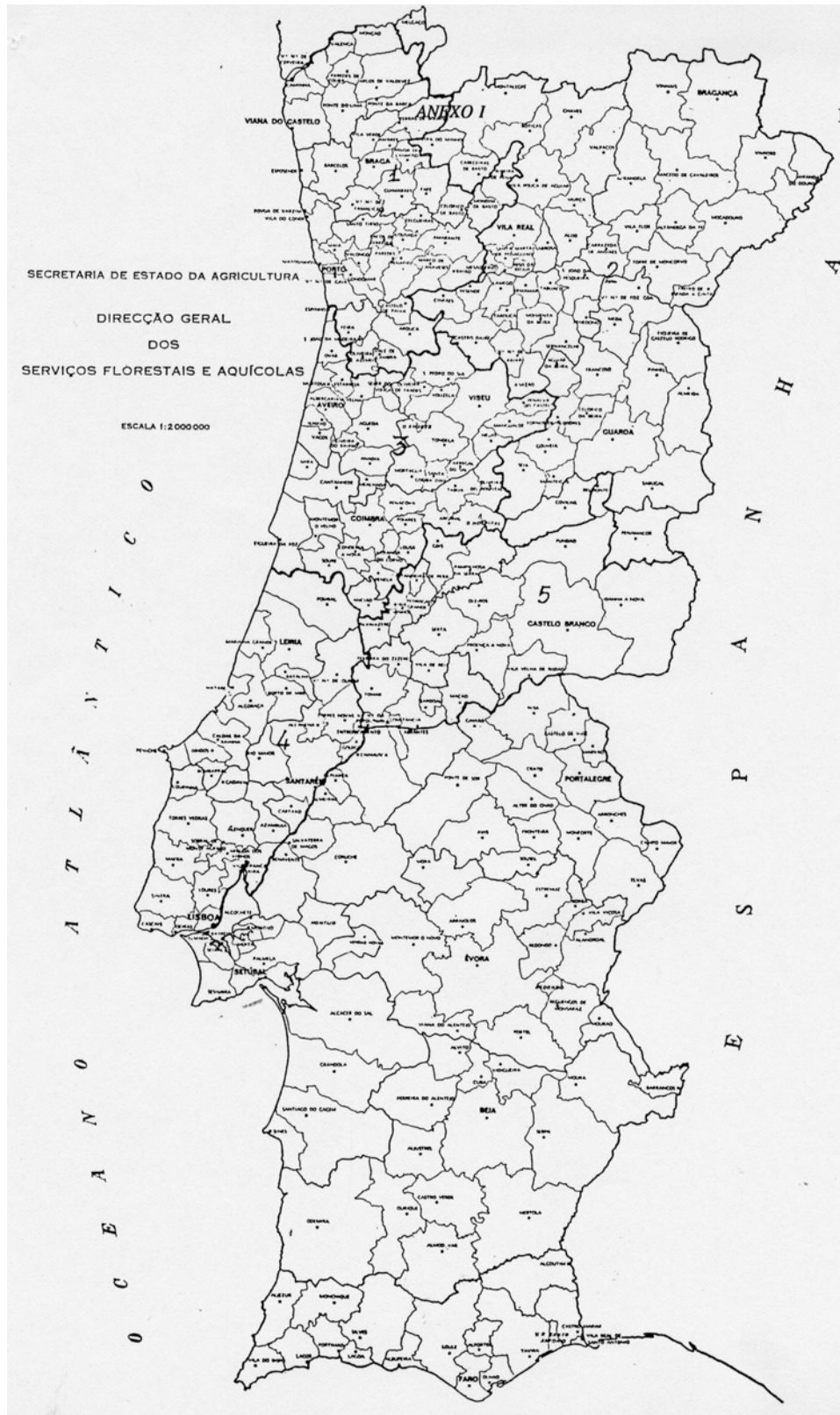
- PALINHOS, L. M. 1989. Estudos Dendrométricos em povoamentos de *Eucalyptus globulus* e *Pinus pinaster* na Região da Beira Baixa. Relatório do Trabalho de Fim do Curso de Produção Florestal. IPCB/ESA, Castelo Branco.
- PARRESOL, B. R., J. E. HOTVEDT e Q. V. CAO. 1987. A Volume and Taper Prediction System for Bald Cypress. *Can. J. For. Res.* **17**: 250-259.
- SGF. 1990. *PDAR. Componente Florestal. Zona do Pinhal Interior*. Silvigest Gestão Florestal SA, Lisboa.
- QUEEN, W. R. e L. V. PIENNAR. 1977. Green and Dry Stem Weight Equations for Site-prepared Slash Pine Plantations in the Coastal Plain of Georgia and North Florida. *Univ. of Ga. Plantations Mgt. Res. Coop., Res. Paper nº1*. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).
- REED D. D. e E. J. GREEN. 1984. Compatible Stem Taper and Volume Ratio Equations. *For. Sci.* **30**: 977-990. (cit. in TOMÉ, J. A., 1991; BYRNE J. C. e D. D. REED., 1986; LYNCH, T. B., 1986).
- SCHUMACHER F. X. e F. HALL. 1933. Logarithmic Expression of Timber-tree Volume. *J. Ag. Res.* **47**: 719-734. (cit. in CLUTTER, J. L. *et al.*, 1983).
- SMALLEY, G. W. e D. R. BOWER. 1968. Volume Tables and Point Sampling Factors for Loblolly Pines in Plantations on Abandoned Fields in Tennessee, Alabama and Georgia Highlands. *U.S.D.A. For. Serv., Res. Paper SO-32*.
- SPURR, H. 1952. *Forest Inventory*. Ronald Press, New York. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- STERBA, H. 1980. Stem Curves - A Review of the Literature. *For. Abstr.* **41** (4): 141-145. (Commonw. For. Bur.). (cit. in BIGING, G. S., 1984).

- STOATE T. N. 1945. The Use of a Volume Equation in Pine Stands. *Aust. For.* **9**: 48-52. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- TAKATA, K. 1958. Construction of Universal Diameter-Height-Curves. *Jo. Jap. For. Soc.* **40**, 1: 1-6. Jap. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- TAKATA, K. 1958. On the Estimation of Mean Stand Height by Strand's Method. *Jo. Jap. For. Soc.* **40**, 7: 305-307. Jap. (cit. in LOETSCH, F. *et al.*, 1973).
- TOMÉ, J. A. 1991. Estimação do Volume Total, de Volumes Mercantis e Modelação do Perfil do Tronco em *Eucalyptus globulus* Labill. Tese de Mestrado. ISA-UTL, Lisboa.
- TOMÉ, M. M. 1988. Modelação do Crescimento da Árvore Individual em povoamentos de *Eucalyptus globulus* Labill. (1ª rotação) Região Centro Portugal. Tese de Doutoramento. ISA-UTL, Lisboa.
- TOMÉ, M. M. s.d.. Apontamentos da disciplina de Biometria do ISA/UTL. Não publicado.

ANEXOS

ANEXO I

EXTRACTO DAS TABELAS DA DGSFA (1969): PINHEIRO BRAVO



ANEXO II

Região 5

Volume total do tronco, com casca, obtido da equação: $V=17,3+0,03293 D^2H$

CLASSE DE D. A. P.	CLASSE DE ALTURA												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	0,037	0,040	0,044	0,047	0,050	0,054							
15	0,062	0,069	0,077	0,084	0,091	0,099	0,106	0,114	0,121				
20		0,110	0,123	0,136	0,149	0,162	0,175	0,188	0,202	0,215	0,228	0,241	0,254
25			0,182	0,203	0,223	0,244	0,264	0,285	0,305	0,326	0,347	0,367	0,388
30				0,284	0,314	0,343	0,373	0,402	0,432	0,462	0,491	0,521	0,551
35				0,380	0,421	0,461	0,501	0,542	0,582	0,622	0,663	0,703	0,743
40					0,544	0,597	0,650	0,702	0,755	0,808	0,860	0,913	0,966
45						0,751	0,817	0,884	0,951	1,018	1,084	1,151	1,218
50							1,005	1,088	1,170	1,252	1,334	1,417	1,499
55							1,213	1,312	1,412	1,511	1,611	1,711	1,810
60							1,440	1,558	1,677	1,796	1,914	2,033	2,151

CLASSE DE D. A. P.	CLASSE DE ALTURA												
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
20	0,268	0,281											
25	0,408	0,429	0,450	0,470	0,491	0,511	0,532						
30	0,580	0,610	0,640	0,669	0,699	0,729	0,758						
35	0,784	0,824	0,864	0,905	0,945	0,985	1,026	1,066					
40	1,018	1,071	1,124	1,176	1,229	1,282	1,334	1,387	1,440	1,492			
45	1,284	1,351	1,418	1,484	1,551	1,618	1,684	1,751	1,818	1,884			
50	1,581	1,664	1,746	1,828	1,911	1,993	2,075	2,158	2,240	2,322			
55	1,910	2,010	2,109	2,209	2,308	2,408	2,508	2,607	2,707	2,806	2,906	3,006	
60	2,270	2,388	2,507	2,625	2,744	2,862	2,981	3,100	3,218	3,337	3,455	3,574	

ANEXO II

CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ESTUDO

II.1. BREVE CARACTERIZAÇÃO EDAFO-CLIMÁTICA E ECOLÓGICA DAS ZONAS DE ESTUDO

Quanto às características climáticas dos locais amostrados, em termos de gradientes absolutos e de acordo com as normais climatológicas para o período de 1931-1960, a precipitação total situa-se entre os 1300mm e os 800mm, a temperatura média anual entre os 10°C e os 15°C, a humidade do ar (9h) entre os 65% e os 75% e o número de dias com geadas entre os 20 e os 40 dias/ano (Atlas da Comissão Nacional do Ambiente, 1982).

Segundo a Carta Hipsométrica do Atlas da Comissão Nacional do Ambiente (1982), os locais amostrados englobam duas zonas distintas: uma de maior altitude (concelho de Oleiros, parte Noroeste do concelho de Castelo Branco, parte Norte e Este do concelho de Penamacor e parte Nordeste do concelho de Idanha-a-Nova) compreendendo as Serras de Alvéolos, do Moradal, da Pedregueira, da Gorda e da Malcata com níveis altimétricos superiores a 400 metros e uma outra de menores níveis altimétricos (concelhos de Vila Velha de Rodão, Proença-a-Nova e Castelo Branco) que se situam entre os 200 e os 300 metros de altitude.

A zona a Noroeste do distrito de Castelo Branco (zona das Serras de Alvéolos, Moradal e Pedregueira) apresenta níveis de precipitação superiores, temperaturas relativamente inferiores e portanto um período seco de duração menor e menos intenso. Também ocorre um menor nº de dias com geada. As zonas a Sudoeste e Nordeste do distrito apresentam precipitações inferiores, temperaturas superiores e maior nº de dias com geada. Porém, os locais sobre a influência do Rio Tejo são mais húmidos.

ANEXO II

As zonas ecológicas associadas aos locais de amostragem são as seguintes:

TABELA AII.1: Zonas Ecológicas nos locais de amostragem

CASTELO BRANCO	<i>IxSM Ibérica x Sub-mediterrânica</i>
VILA VELHA RODÃO	<i>IxSM Ibérica x Sub-mediterrânica</i>
OLEIROS	<i>SxAM Sub-atlântica x Atlante-mediterrânea</i>
IDANHA-A-NOVA	<i>SMxIM Sub-Mediterrânica x Ibero Mediterrânica</i>
PENAMACOR	<i>SxAM Sub-atlântica x Atlante-mediterrânea</i>
PROENÇA-A-NOVA	<i>AMxSM Atlante-mediterrânica x sub-mediterrânica</i>

Em termos edáficos, o tipo de solo mais frequente nas áreas florestais do pinhal são litossolos de origem xistosa ou grauváquica e solos mediterrâneos pardos não calcários, normais. Estes solos são pobres e delgados encontrando-se os últimos predominantemente, em áreas sujeitas a erosão nomeadamente, nas encostas (PDAR, 1990).

ANEXO III

**PROGRAMAS UTILIZADOS EM GENSTAT5 E CARACTERIZAÇÃO
DOS SUB-CONJUNTOS DE DADOS DE AJUSTAMENTO E VALIDAÇÃO**

III.1. PROGRAMAS EM GENSTAT5

PROGRAMA CUBAGEM.GEN

```

JOB "CUBAGEM RIGOROSA"
OPEN 'CUBVAL.DAT','CUBRIGVA.DAT';C=2,3;I,O
FOR [NTIMES=73]
READ [C=2;SETN=Y;P=*]NARV,h,d
CALC N=NVAL(h)
CALC PI=ARCCOS(-1)
CALC VCEPO=(PI/4)*h$[1]*((d$[1])/100)**2
CALC N1=N-1
CALC N2=N-2
CALC VBIC=(PI/4)*(1/3)*(((d$[N1])/100)**2)*(h$[N]-h$[N1])
VARI [NV=1] DIAM[1...N]
VARI [NV=1] ALT[1...N]
EQUA d;P(DIAM[1...N])
EQUA h;P(ALT[1...N])
CALC TOROS[1...N2]=(PI/40000)*(((DIAM[1...N2]**2+DIAM[2...N1]**2)/2)*\
(ALT[2...N1]-ALT[1...N2]))
PRINT [C=3;IPRINT=*;ORIENT=ACROSS]N,VCEPO,TOROS[1...N2],VBIC
ENDFOR
STOP

```

PROGRAMA VACUMVA.GEN

```

JOB "CALC VOL ACUM"
OPEN 'CUBRIVA.DAT','VMVAL.DAT';C=2,3;I,O
FOR [NTIMES=73]
READ [C=2;SETN=Y;P=*]V
CALC N=NVAL(V)
PRINT [C=3;IPRINT=*;ORIENT=ACROSS;SQUASH=Y]N
CALC N1=0
CALC VI=0
FOR [NTIMES=N]
CALC N1=N1+1
CALC VM=VI+V$[N1]
PRINT [C=3;IPRINT=*;ORIENT=ACROSS;SQUASH=Y]VM
CALC VI=VM
ENDFOR
ENDFOR
STOP

```

ANEXO III

MACRO - REGRESSÃO

```

JOB MACRO_REGRESSAO
"
  Escreve em REGRESSAO:
  REGINIT,REGLIN,QUALREG,REGLOG,REGINV,
  TFSEQ,GRAFRES,COLIN,STEPWISE,
  REG11,REG22,REG33,REG44,REG55,REG66,REG77,
  REGNLIN,NLINIT,NLGRID,NLCOLIN
"
"
+++++
  MACRO REGINIT
"
TEXT REGINIT
READ [SET=YES] REGINIT
'SCAL GL,SQE,QME,SQT, QMT,PRESS,APRESS,SPRESS,MINP,MAXP,R2,R2AJ,CP'
'CALC M_N=NVAL(Y)'
'CALC SQT=VAR(Y)*(M_N-1)'
'CALC QMT=VAR(Y)'
'CALC XC[1...K]=X[1...K]-MEAN(X[1...K])'
' & XC[1...K]=XC[1...K]/SQRT((M_N-1)*VAR(X[1...K]))'
'SCAL [0] QMEK'
'MODEL Y '
'TERM X[,Y'
'SCAL [1] PCOLIN'
'CALC K1=K-1'
' & K2=K-2'
' & K3=K-3'
' & K4=K-4'
' & K5=K-5'
' & K6=K-6'
' & K7=K-7'
:
"
+++++
  MACRO REGLIN
"
TEXT REGLIN
READ [SET=YES] REGLIN
'TERMS X[1...K],Y'
'FIT [P=M,S,E] X[']
'RKEEP DEV=SQE;DF=GL;FIT=YEST;LEV=HAT;EST=COEF;RES=RSTUD'
'PRIN [SQUASH=YES] COEF;F=20;DEC=9'
'## QUALREG'
'PRIN R2,R2AJ,QME,PRESS,APRESS,SPRESS,MINP,MINP%,MAXP,MAXP%;DEC=4'
:
"
+++++
  MACRO QUALREG
"
TEXT QUALREG
READ [SET=YES] QUALREG
'CALC R=Y-YEST'
'CALC QME=SQE/GL'
' & RESP=R/(1-HAT)'
' & RESP%=RESP/Y*100'
'SORT [INDEX=RESP] RESP,Y;RESPORD,YORD'
'CALC YMIN=YORD$[1]'
'CALC YMAX=YORD$[M_N]'
'CALC PRESS=SUM(RESP**2)'
' & APRESS=SUM(ABS(RESP))'
' & SPRESS=SUM(RESP)'
' & MINP=MIN(RESP)

```

ANEXO III

```

' & MAXP=MAX(RESPI)
' & MINP%=MIN(RESPI%)
' & MAXP%=MAX(RESPI%)
' & R2=1-SQE/SQT
' & R2AJ=1-QME/QMT
'IF (QMEK.NE.0)
' CALC CP=SUM(HAT)+((QME-QMEK)*GL)/QMEK'
'ENDIF
:
"
+++++
MACRO HIST_RESP
"
TEXT HIST_RESP
READ [SET=YES] HIST_RESP
'HIST [LIM=(-50,-25,-15,-5,0,5,15,25,50)] RESP%'
:
"
+++++
MACRO TFSEQ
"
TEXT TFSEQ
READ [SET=YES] TFSEQ
'FIT [P=*] X[1]'
'FOR VAR=X[2...K]'
' ADD [P=*] VAR'
'ENDFOR'
'RDISP [P=A;DEN=MS;N=D,L,R]'
:
"
+++++
MACRO LCONF
"
TEXT LCONF
READ [SET=YES] LCONF
'VARI [V=1..M_N] OBS'
'CALC DPFIT=SQRT(HAT*QME)'
' & T=SQRT(FED(0,95;1;GL))'
' & DPPRED=SQRT(1+HAT)*SQRT(QME)'
' & LICONF=YEST-DPFIT*T'
' & LSCONF=YEST+DPFIT*T'
' & LIPRED=YEST-DPPRED*T'
' & LSPRED=YEST+DPPRED*T'
'PRIN OBS,Y,DPFIT,YEST,LICONF,LSCONF,LIPRED,LSPRED;\
' DEC=0,7(3);F=4,7(10)'
:
"
+++++
MACRO GRAFRES
"
TEXT GRAFRES
READ [SET=YES] GRAFRES
'CALC LINHA=Y-Y'
'GRAPH [TITL="GR-FICO DE RESIDUOS TRADICIONAIS";\
' XTIT="VALORES AJUSTADOS (YEST)";\
' YTIT="RESIDUOS"]\
' R,LINHA;YEST;SYMB="*", "-"
'GRAPH [TITL="GR-FICO DE RESIDUOS STUDENTIZADOS";\
' XTIT="VALORES AJUSTADOS (YEST)";\
' YTIT="RESIDUOS STUDENTIZADOS"]\
' RSTUD,LINHA;YEST;SYMB="*", "-"
:
"
+++++
MACRO COLIN

```

ANEXO III

```

"
TEXT COLIN
READ [SET=YES] COLIN
'IF (PCOLIN.EQ.1)'
'CALC KK=K'
'ENDIF'
'MATR [KK;M_N] XAT'
' & [M_N;KK] XA'
'SYMM [KK] XATXA'
'DIAG [KK] FIV'
'SCAL TRACO'
'IF (PCOLIN.EQ.1)'
'EQUA [P(XC[1...KK]);XAT'
'ELSE'
'EQUA XP;XAT'
'ENDIF'
'CALC XA=TRANS(XAT)'
' & XATXA=PROD(XAT;XA)'
' & FIV=INV(XATXA)'
'LRV [KK;KK] VVP;VPROP;LAMBDA;TRACO'
'FLRV XATXA;VVP'
'CALC NCOND=MAX(LAMBDA)/MIN(LAMBDA)'
'CALC MAXFIV=MAX(FIV)'
'IF (PCOLIN.EQ.1)'
'PRIN FIV;DEC=4'
'PRIN LAMBDA;DEC=4'
' & TRACO;DEC=4'
' & VPROP'
'PRIN NCOND'
'ENDIF'
:
"
+++++
MACRO STEPWISE
"
TEXT STEPWISE
READ [SET=YES] STEPWISE
'DROP [P=*] X[]'
'SCAL [V=0] SQE1'
'STEP [P=M,CHANGES;N=D,L,R] X[1...K]'
'RKEEP DEV=SQE2'
'FOR [NTIMES=K]'
' IF ((SQE2-SQE1).NE.0)'
'  CALC SQE1=SQE2'
'  STEP [P=M,CHANGES;N=D,L,R] X[1...K]'
'  RKEEP DEV=SQE2'
' ENDF'
'ENDFOR'
:
"
+++++
MACRO REGLOG
"
TEXT REGLOG
READ [SET=YES] REGLOG
'## REGLIN'
'CALC QMTY=VAR(EXP(Y))'
'CALC SQTY=QMTY*(M_N-1)'
'CALC RY=EXP(Y)-EXP(YEST)'
'CALC SQEY=SUM(RY**2)'
'CALC QMEY=SQEY/GL'
'CALC RESPY=EXP(Y)-EXP(Y-RESP)'
'SORT [INDEX=RESPY] RESPY,Y;RESPYORD,YORD'
'CALC YMIN=YORD$[1]'
'CALC YMAX=YORD$[M_N]'

```

ANEXO III

```
' & PRESSY=SUM(RESPY**2)'
' & APRESSY=SUM(ABS(RESPY))'
' & SPRESSY=SUM(RESPY)'
' & MINPY=MIN(RESPY)'
' & MAXPY=MAX(RESPY)'
' & MINPY%=MINPY/YMIN*100'
' & MAXPY%=MAXPY/YMAX*100'
' & R2Y=1-SQEY/SQTY'
' & R2Y=1-SQEY/SQTY'
' & R2AJY=1-QMEY/QMTY'
'PRIN R2Y,R2AJY,QMEY,PRESSY,APRESSY,SPRESSY,MINPY,MINPY%,MAXPY,MAXPY%;DEC=4'
:
"
+++++
MACRO REGINV
"
TEXT REGINV
READ [SET=YES] REGINV
'## REGLIN'
'CALC QMTY=VAR((1/Y))'
'CALC SQTY=QMTY*(M_N-1)'
'CALC RY=1/Y-1/YEST'
'CALC SQEY=SUM(RY**2)'
'CALC QMEY=SQEY/GL'
'CALC RESPY=1/Y-1/(Y-RESP)'
'SORT [INDEX=RESPY] RESPY,Y;RESPYORD,YORD'
'CALC YMIN=YORD$[1]'
'CALC YMAX=YORD$[M_N]'
' & PRESSY=SUM(RESPY**2)'
' & APRESSY=SUM(ABS(RESPY))'
' & SPRESSY=SUM(RESPY)'
' & MINPY=MIN(RESPY)'
' & MAXPY=MAX(RESPY)'
' & MINPY%=MINPY/YMIN*100'
' & MAXPY%=MAXPY/YMAX*100'
' & R2Y=1-SQEY/SQTY'
' & R2AJY=1-QMEY/QMTY'
'PRIN R2Y,R2AJY,QMEY,PRESSY,APRESSY,SPRESSY,MINPY,MINPY%,MAXPY,MAXPY%;DEC=4'
:
"
+++++
MACRO REGKK
"
TEXT REGKK
READ [SET=YES] REGKK
'CALC PCOLIN=0'
'FIT [N=L,R;P=*] X[1...K]'
'RKEEP DEV=SQE;DF=GL;FIT=YEST;LEV=HAT'
'CALC QMEK=SQE/GL'
'## QUALREG'
'CALC KK=K'
'POIN [V=XC] XP'
'## COLIN'
'TEXT VARIAVEIS;V=" Modelo mβximo"'
'PRIN [SQUASH=Y]'
' R2,R2AJ,CP,QME,PRESS,APRESS,SPRESS,MAXFIV,NCOND,VARIAVEIS;'
' 2(8),7(12),14;9(3),1(0)'
'CALC PCOLIN=1'
:
"
+++++
MACRO REG11
"
TEXT REG11
READ [SET=YES] REG11
```

ANEXO III

```

'CALC PCOLIN=0'
'IF (K1.GT.0)'
'FOR X1=1...K'
'FIT [N=L,R;P=*] X[X1]'
'RKEEP DEV=SQE;DF=GL;FIT=YEST;LEV=HAT'
'SCAL V[1];X1'
'## QUALREG'
'CALC KK=1'
'POIN [V=XC[X1]] XP'
'## COLIN'
'PRIN [IP=*;SQUASH=Y]\
'  R2,R2AJ,CP,QME,PRESS,APRESS,SPRESS,MAXFIV,NCOND,V[1];\
'  2(8),7(12),3;9(3),1(0)'
'ENDF'
'ENDIF'
'CALC PCOLIN=1'
:
"
+++++
MACRO REG22
"
TEXT REG22
READ [SET=YES] REG22
'CALC PCOLIN=0'
'IF (K2.GT.0)'
'FOR X1=1...K1'
'CALC X11=X1+1'
'FOR X2=X11...K'
'FIT [N=L,R;P=*] X[X1],X[X2]'
'RKEEP DEV=SQE;DF=GL;FIT=YEST;LEV=HAT'
'SCAL V[1...2];X1,X2'
'## QUALREG'
'CALC KK=2'
'POIN [V=XC[X1],XC[X2]] XP'
'## COLIN'
'PRIN [IP=*;SQUASH=Y]\
'  R2,R2AJ,CP,QME,PRESS,APRESS,SPRESS,MAXFIV,NCOND,V[1...2];\
'  2(8),7(12),2(3);9(3),2(0)'
'ENDF'
'ENDIF'
'CALC PCOLIN=1'
:
"
+++++
MACRO REG33
"
TEXT REG33
READ [SET=YES] REG33
'CALC PCOLIN=0'
'IF (K3.GT.0)'
'FOR X1=1...K2'
'CALC X11=X1+1'
'FOR X2=X11...K1'
'CALC X21=X2+1'
'FOR X3=X21...K'
'FIT [N=L,R;P=*] X[X1],X[X2],X[X3]'
'RKEEP DEV=SQE;DF=GL;FIT=YEST;LEV=HAT'
'SCAL V[1...3];X1,X2,X3'
'## QUALREG'
'CALC KK=3'
'POIN [V=XC[X1],XC[X2],XC[X3]] XP'
'## COLIN'
'PRIN [IP=*;SQUASH=Y]\
'  R2,R2AJ,CP,QME,PRESS,APRESS,SPRESS,MAXFIV,NCOND,V[1...3];\

```


ANEXO III

```

"
+++++
MACRO NLCOLIN
"
TEXT NLCOLIN
READ [SET=YES] NLCOLIN
MATR [K;M_N] XAT
' & [M_N;K] XA'
'SYMM [K] XATXA'
'DIAG [K] FIV'
'SCAL TRACO'
'VARI [NV=M_N] XAUX[1...K]'
'EQUA WT;P(XAUX[1...K])'
'CALC XAUX[]=(XAUX[]-MEAN(XAUX[]))/SQRT(VAR(XAUX[])*(M_N-1))'
'EQUA XAUX:XAT'
'CALC XA=TRANS(XAT)'
' & XATXA=PROD(XAT;XA)'
' & FIV=INV(XATXA)'
'LRV [K;K] VVP;VPROP;LAMBDA;TRACO'
'FLRV XATXA;VVP'
'CALC NCOND=MAX(LAMBDA)/MIN(LAMBDA)'
'CALC MAXFIV=MAX(FIV)'
'PRIN FIV;DEC=4'
'PRIN LAMBDA;DEC=4'
' & TRACO;DEC=4'
' & VPROP'
'PRIN NCOND'
:
"
+++++
ESCRITA DAS MACROS
"
OPEN 'REGRESS';1;B
STORE [CHAN=1;MET=REP] QUALREG,REGINIT,REGLIN,TFSEQ,HIST_RESP,\
  REGLOG,REGINV,GRAFRES,COLIN,STEPWISE,LCONF,REGKK,REG11,REG22,\
  REG33,REG44,REG55,REG66,REG77,REGNLIN,NLINIT,NLGRID,NLCOLIN
ENDJOB
STOP
"

```

ANEXO III

OUTPUT - COMBINAÇÕES LINEARES EV's

Genstat 5 Release 2.2 (Vax/VMS5) 6-APR-1993 10:53:57.95
 Copyright 1990, Lawes Agricultural Trust (Rothamsted Experimental Station)

```

1 JOB "REGLIN MULTIPLA-COMBINACOES EV LIN"
2 OPEN 'REGRESS';1;B
3 RETR [CHAN=1] QUALREG,REGLIN,REGINIT,TFSEQ,LCONF,\
4   GRAFRES,COLIN,STEPWISE,REGKK,REG11,REG22,REG33,REG44
5 OPEN 'VTAJ.LIS';CHANNEL=2;I
6 READ [C=2;PRINT=*;SETN=YES] ARVN,VT,D,H
7 "
-8 -----
-9 REGLIN MULTIPLA
-10 -----
-11 "
12 CALC Y=VT
13 CALC D2=D**2
14 CALC H2=H**2
15 CALC DH=D*H
16 CALC D2H=D**2*H
17 CALC DH2=D*H**2
18 CALC D2H2=D2*H2
19 POIN [V=D,H,D2,H2,D2H,DH2,D2H2,DH] X
20 SCAL [8] K
21 ## REGINIT
22 ## REGKK
  R2  R2AJ  CP  QME  PRESS  APRESS  SPRESS  MAXFIV  NCOND  VARIAVEI
0.978 0.975  9.000  0.002  0.532  3.087  0.163  1527.107 1525398.250 Modelo mβximo
23 ## REG11
0.878 0.876 285.513  0.011  0.895  5.879  0.083  1.000  1.000  1
0.658 0.653 924.088  0.032  2.427  9.317  0.004  1.000  1.000  2
0.926 0.925 146.583  0.007  0.546  3.810  0.000  1.000  1.000  3
0.643 0.638 966.604  0.033  2.615  9.197  -0.110  1.000  1.000  4
0.976 0.976  0.868  0.002  0.184  2.091  -0.006  1.000  1.000  5
0.871 0.869 306.161  0.012  1.023  4.994  -0.063  1.000  1.000  6
0.934 0.933 121.892  0.006  0.537  3.940  -0.060  1.000  1.000  7
0.936 0.935 116.998  0.006  0.487  3.997  0.048  1.000  1.000  8
24 ## REG22
0.894 0.891 240.296  0.010  0.828  5.708  0.132  2.561  8.121  1 2
0.926 0.924 148.047  0.007  0.571  3.783  0.007  21.845  85.370  1 3
0.907 0.904 203.661  0.009  0.730  5.188  0.099  2.159  6.481  1 4
0.976 0.976  1.994  0.002  0.196  2.065  -0.001  8.968  33.841  1 5
0.941 0.939 104.789  0.006  0.487  4.001  0.006  3.810  13.164  1 6
0.971 0.970 17.818  0.003  0.278  2.604  -0.032  4.201  14.738  1 7
0.939 0.937 109.621  0.006  0.482  4.117  0.044  10.297  39.164  1 8
0.953 0.951  70.769  0.004  0.388  3.651  0.076  2.115  6.303  2 3
0.658 0.649 925.063  0.032  2.613  9.524  -0.143  33.126  130.496  2 4
0.976 0.975  2.264  0.002  0.195  2.159  -0.002  2.945  9.675  2 5
0.900 0.897 223.303  0.009  0.888  4.512  -0.096  7.892  29.533  2 6
0.935 0.933 123.030  0.006  0.557  4.008  -0.064  3.575  12.217  2 7
0.965 0.964  34.866  0.003  0.293  3.045  0.059  5.882  21.482  2 8
0.961 0.960 44.816  0.004  0.320  3.219  0.047  1.918  5.490  3 4
0.976 0.975  2.867  0.002  0.217  2.191  -0.039  19.473  75.880  3 5
0.971 0.970 17.707  0.003  0.258  2.703  0.005  3.734  12.860  3 6
0.975 0.974  5.783  0.002  0.242  2.119  -0.068  5.700  20.751  3 7
0.961 0.960 46.547  0.004  0.341  3.352  0.086  8.311  31.213  3 8
0.976 0.975  2.462  0.002  0.201  2.168  -0.009  2.839  9.249  4 5
0.949 0.948  80.151  0.005  0.448  3.482  -0.033  10.615  40.434  4 6
0.940 0.938 107.333  0.006  0.501  3.854  -0.084  4.072  14.219  4 7
0.957 0.956  58.241  0.004  0.361  3.571  0.097  5.054  18.161  4 8
0.976 0.975  2.467  0.002  0.213  2.191  -0.021  8.671  32.655  5 6
0.976 0.975  2.862  0.002  0.232  2.217  -0.068  23.725  92.890  5 7

```

ANEXO III

0.976	0.976	1.379	0.002	0.205	2.149	0.035	19.573	76.277	5	8	
0.936	0.935	117.474	0.006	0.543	4.038	-0.056	21.114	82.443	6	7	
0.938	0.936	114.440	0.006	0.504	4.178	0.016	19.393	75.557	6	8	
0.953	0.951	70.395	0.004	0.461	3.109	-0.002	13.812	53.230	7	8	
25 ## REG33											
0.964	0.962	39.865	0.003	0.305	3.109	0.037	28.581	136.903	1	2	3
0.931	0.928	135.466	0.007	0.607	4.421	-0.053	44.214	215.876	1	2	4
0.976	0.975	3.493	0.002	0.211	2.171	0.010	10.370	48.490	1	2	5
0.961	0.959	49.624	0.004	0.384	3.283	-0.040	11.910	51.813	1	2	6
0.973	0.972	13.307	0.003	0.272	2.421	-0.022	6.008	24.219	1	2	7
0.970	0.969	20.864	0.003	0.282	2.757	-0.003	42.009	182.021	1	2	8
0.969	0.968	23.582	0.003	0.272	2.765	0.015	25.268	122.194	1	3	4
0.977	0.976	2.641	0.002	0.236	2.235	-0.003	49.066	216.924	1	3	5
0.974	0.973	9.670	0.002	0.257	2.330	0.005	22.822	120.832	1	3	6
0.975	0.974	6.431	0.002	0.264	2.190	-0.032	30.389	145.371	1	3	7
0.973	0.972	12.159	0.003	0.251	2.564	0.034	27.653	132.189	1	3	8
0.976	0.975	3.407	0.002	0.218	2.177	0.015	12.001	53.761	1	4	5
0.968	0.966	29.239	0.003	0.335	2.862	-0.019	26.384	115.318	1	4	6
0.974	0.973	10.831	0.003	0.267	2.351	-0.008	8.015	32.514	1	4	7
0.973	0.972	12.548	0.003	0.264	2.618	0.083	89.018	385.576	1	4	8
0.977	0.975	3.204	0.002	0.233	2.204	0.020	21.715	93.471	1	5	6
0.977	0.975	3.230	0.002	0.253	2.218	-0.040	106.252	477.736	1	5	7
0.977	0.976	3.166	0.002	0.225	2.206	0.025	23.862	114.806	1	5	8
0.974	0.973	9.582	0.002	0.270	2.343	0.012	23.380	119.463	1	6	7
0.941	0.938	106.757	0.006	0.511	4.081	-0.059	457.448	2025.544	1	6	8
0.973	0.971	14.476	0.003	0.286	2.462	-0.002	45.365	198.591	1	7	8
0.969	0.967	25.969	0.003	0.289	2.806	-0.049	37.977	186.759	2	3	4
0.976	0.975	4.075	0.002	0.225	2.234	-0.025	35.901	165.953	2	3	5
0.973	0.972	12.799	0.003	0.267	2.459	-0.041	16.572	70.976	2	3	6
0.976	0.974	6.141	0.002	0.248	2.163	-0.051	10.037	41.832	2	3	7
0.965	0.964	36.461	0.003	0.332	3.143	0.078	118.687	510.192	2	3	8
0.976	0.975	4.132	0.002	0.216	2.244	-0.019	34.424	181.117	2	4	5
0.972	0.971	15.724	0.003	0.302	2.487	0.069	44.674	216.740	2	4	6
0.967	0.966	30.034	0.003	0.328	3.073	0.026	37.964	194.969	2	4	7
0.966	0.964	34.101	0.003	0.307	3.059	0.006	38.571	197.975	2	4	8
0.976	0.975	4.259	0.002	0.233	2.262	-0.051	33.251	143.156	2	5	6
0.976	0.975	4.045	0.002	0.239	2.278	-0.058	29.614	145.711	2	5	7
0.977	0.976	2.769	0.002	0.220	2.181	0.064	109.987	493.062	2	5	8
0.941	0.938	106.204	0.006	0.508	4.100	-0.118	141.297	631.782	2	6	7
0.968	0.966	28.514	0.003	0.315	2.951	-0.028	26.022	122.741	2	6	8
0.973	0.972	14.241	0.003	0.287	2.582	-0.013	24.364	109.264	2	7	8
0.976	0.975	4.115	0.002	0.228	2.218	-0.014	54.294	246.618	3	4	5
0.974	0.973	10.332	0.002	0.273	2.394	-0.051	51.110	221.848	3	4	6
0.975	0.974	6.493	0.002	0.253	2.161	-0.047	15.474	64.545	3	4	7
0.962	0.960	46.670	0.004	0.372	3.339	0.103	282.962	1215.031	3	4	8
0.976	0.975	3.842	0.002	0.241	2.216	0.019	117.788	523.815	3	5	6
0.976	0.975	4.756	0.002	0.252	2.330	-0.075	1431.772	6348.811	3	5	7
0.976	0.975	3.312	0.002	0.236	2.238	0.007	48.018	211.865	3	5	8
0.975	0.974	6.387	0.002	0.266	2.195	-0.012	36.313	168.962	3	6	7
0.973	0.972	12.229	0.003	0.271	2.348	-0.021	93.177	415.056	3	6	8
0.976	0.975	5.659	0.002	0.260	2.213	-0.020	20.192	90.616	3	7	8
0.976	0.975	4.457	0.002	0.246	2.276	-0.073	130.060	565.422	4	5	6
0.976	0.975	4.023	0.002	0.242	2.274	-0.054	42.405	199.602	4	5	7
0.977	0.976	2.914	0.002	0.222	2.207	0.038	63.557	287.553	4	5	8
0.949	0.947	81.995	0.005	0.583	3.705	0.154	298.968	1327.776	4	6	7
0.971	0.970	18.180	0.003	0.301	2.705	-0.012	50.970	226.899	4	6	8
0.976	0.975	5.912	0.002	0.260	2.342	0.010	17.186	81.531	4	7	8
0.976	0.975	3.560	0.002	0.251	2.279	-0.020	64.745	286.713	5	6	7
0.977	0.975	3.194	0.002	0.236	2.250	0.001	44.889	198.014	5	6	8
0.976	0.975	3.265	0.002	0.250	2.274	-0.023	35.173	156.900	5	7	8
0.976	0.975	3.779	0.002	0.250	2.341	0.012	31.701	140.138	6	7	8
26 ENDJ											

***** End of job. Maximum of 24834 data units used at line 14 (24880 left)

ANEXO III

PROGRAMA DE REGRESSÃO - EV2

```

JOB "REGLIN MULTIPLA-EV2"
OPEN 'VTAJ.LIS';CHANNEL=2;I
READ [C=2;PRINT=*;SETN=YES] ARVN,VT,D,H
CALC N=NVAL(VT)
VARI [NV=N] YEST,R,RP,Y,X1,X2,X3,VTEST
SCAL GL,SQR,QMR,SQT,QMT,PRESS,APRESS,R2,R2AJ,\
  QMARP,RA,MAR,MAXFIV,NCOND,CONV,A0,A1,A2,A3,B0,B1,B2,B3
"
-----
REGLIN MULTIPLA
-----
"
CALC Y=VT
CALC X1=D**2
CALC X2=D**2*H
CALC X3=H
CALC SQT=VAR(Y)*(N-1)
CALC QMT=VAR(Y)
MODEL Y
TERMS X1,X2,X3
FIT [P=*]X1,X2,X3
RKEEP DF=GL;DEV=SQR;F=YEST;LEV=HAT;EST=COEF;RES=RSTUD
"
-----
MEDIDAS DA QUALIDADE DO MODELO LIN
-----
"
CALC R=Y-YEST
CALC RA=SUM(ABS(R))
CALC MAR=RA/N
CALC QMR=SQR/GL
CALC RP=R/(1-HAT)
CALC PRESS=SUM(RP**2)
CALC APRESS=SUM(ABS(RP))
CALC R2=1-SQR/SQT
CALC R2AJ=1-QMR/QMT
CALC QMARP=APRESS/N
PRINT QMR,R2,R2AJ,PRESS,APRESS,QMARP,MAR;\
  DEC=3(4),2(1);F=3(9),12,9
"
-----
ESTUDO DA COLINEARIDADE
-----
"
MATR [3;N] XAT
MATR [N;3] XA
SYMM [3] XATXA
MATR [3;3] INVXATXA
MATR [3;3] DIAGONAL
DIAG [3] FIV
MATR [3;3] DIAGONAL
SCAL TRACO
VARI [NV=N] XC[1...3]
POINT [V=X1,X2,X3]X
PRINT X[1...3]
CALC XC[1...3]=(X[1...3]-MEAN(X[1...3]))/SQRT(VAR(X[1...3]))*(N-1)
PRINT XC[1...3]
EQUATE XC;XAT
CALC XA=TRANS(XAT)
CALC XATXA=PROD(XAT;XA)
CALC FIV=INV(XATXA)
LRV [3;3] VVP;VPROP;LAMBDA;TRACO

```

ANEXO III

```

FLRV XATXA;VVP
CALC VPROPT=TRANS(VPROP)
CALC DIAGONAL=PROD(VPROP;XATXA)
CALC NCOND=MAX(LAMBDA)/MIN(LAMBDA)
CALC MAXFIV=MAX(FIV)
PRINT MAXFIV,NCOND;DEC=4
"
-----
REGNLIN MULTIPLA
-----
"
EQUA COEF;P(A0,A1,A2,A3)
CALC A0=A0
CALC A1=A1
CALC A2=A2
CALC A3=A3
EXPR EVT2; V=|E(VTEST=B0+B1*D**2+B2*D**2*H+B3*H)
MODEL VT;FIT=VTEST
RCYC [MAX=300;MET=G;TOL=0.00001]P=B0,B1,B2,B3;\
INI=A0,A1,A2,A3;STEP=0.00001,0.01,0.0001
FITN [PRINT=SUM,EST,CORR;CALC=EVT2]
RKEEP DF=GL;DEV=SQR;F=VTEST;EST=COEF;RES=RSTUD;\
EXIT=CONV;GRAD=WAUX
MATR [N;4] W
MATR [4;N] WT
DIAG [N] WHAT
EQUA WAUX;WT
PRINT WAUX[1...4]
CALC W=TRANS(WT)
CALC WTW=PROD(WT;W)
CALC WTW_I=INV(WTW)
CALC AUX=PROD(W;WTW_I)
CALC WHAT=PROD(AUX;WT)
EQUA WHAT;HAT
"
-----
MEDIDAS QUALIDADE DO MODELO NAO LINEAR
-----
"
CALC SQT=VAR(VT)*(N-1)
CALC QMT=VAR(VT)
CALC R=VT-VTEST
CALC RA=SUM(ABS(R))
CALC MAR=RA/N
CALC QMR=SQR/GL
CALC RP=R/(1-HAT)
CALC PRESS=SUM(RP**2)
CALC APRESS=SUM(ABS(RP))
CALC R2=1-SQR/SQT
CALC R2AJ=1-QMR/QMT
CALC QMARP=APRESS/N
PRINT QMR,R2,R2AJ,PRESS,APRESS,QMARP,MAR;\
DEC=3(4),2(1);F=3(9),12,9
"
-----
GRAFICOS DE RESIDUOS
-----
"
VARI [V=73(0)] LINHA
GRAPH [TITL='GRAFICO DE RESIDUOS TRADICIONAIS';\
XTIT='VALORES AJUSTADOS (VTEST)';\
YTIT='RESIDUOS (R)']\
R,LINHA;VTEST;SYMB='+', '-'
"
-----

```

ANEXO III

ESTUDO DA COLINEARIDADE

```

-----
"
MATR [3;N] XAT
MATR [N;3] XA
SYMM [3] XATXA
MATR [3;3] INVXATXA
MATR [3;3] DIAGONAL
DIAG [3] FIV
MATR [3;3] DIAGONAL
SCAL TRACO
VARI [NV=N] TAUX [1...3]
VARI [NV=N] XAUX[1...4]
EQUA WT;P(XAUX[1...4])
CALC TAUX[1...3]=(XAUX[2...4]-MEAN(XAUX[2...4]))/SQRT(VAR(XAUX[2...4])*(N-1))
PRINT TAUX[1...3]
EQUATE TAUX;XAT
CALC XA=TRANS(XAT)
CALC XATXA=PROD(XAT;XA)
CALC FIV=INV(XATXA)
LRV [3;3] VVP;VPROP;LAMBDA;TRACO
FLRV XATXA;VVP
CALC VPROPT=TRANS(VPROP)
CALC DIAGONAL=PROD(VPROP;XATXA)
CALC NCOND=MAX(LAMBDA)/MIN(LAMBDA)
CALC MAXFIV=MAX(FIV)
PRINT MAXFIV,NCOND;DEC=4
"
STOP

```

PROGRAMA DE REGRESSÃO - EV10

```

JOB "REGLIN MULTIPLA-EV10"
OPEN ^VTAJ.LIS;CHANNEL=2;I
READ [C=2;P=*;SETN=YES] ARVN,VT,D,H
CALC N=NVAL(VT)
VARI [NV=N] R,RP,VTEST
SCAL GL,SQR,QMR,SQT,QMT,PRESS,APRESS,R2,R2AJ,\
  QMAR,RA,MAR,MAXFIV,NCOND,CONV,A0,A1,B0,B1
"
-----
REGNLIN MULTIPLA
-----
"
READ A0,A1
21766.00 167.85:
EXPR EVT10; V=|E(VTEST=(D**2*H)/(B0+B1*D))
MODEL VT;FIT=VTEST
RCYC [MAX=300;MET=N;TOL=0.00001]P=B0,B1;\
  INI=A0,A1;STEP=0.01,0.001
FITN [PRINT=SUM,EST,CORR;CALC=EVT10]
RKEEP DF=GL;DEV=SQR;F=VTEST;EST=COEF;RES=RSTUD;\
  EXIT=CONV;GRAD=WAUX
MATR [N;2] W
MATR [2;N] WT
DIAG [N] WHAT
MATR [N;1] HAT
PRINT WAUX[1...2]
EQUA WAUX;WT
CALC W=TRANS(WT)
CALC WTW=PROD(WT;W)
CALC WTW_I=INV(WTW)
CALC AUX=PROD(W;WTW_I)
CALC WHAT=PROD(AUX;WT)

```

ANEXO III

```

EQUA WHAT;HAT
"
-----
MEDIDAS QUALIDADE DO MODELO NAO LINEAR
-----
"
CALC SQT=VAR(VT)*(N-1)
CALC QMT=VAR(VT)
CALC R=VT-VTEST
CALC RA=SUM(ABS(R))
CALC MAR=RA/N
CALC QMR=SQR/GL
CALC RP=R/(1-HAT)
CALC PRESS=SUM(RP**2)
CALC APRESS=SUM(ABS(RP))
CALC R2=1-SQR/SQT
CALC R2AJ=1-QMR/QMT
CALC QMARP=APRESS/N
PRINT QMR,R2,R2AJ,PRESS,APRESS,QMARP,MAR;\
      DEC=3(4),2(1);F=3(9),12,9
"
-----
GRAFICOS DE RESIDUOS
-----
"
VARI [V=73(0)] LINHA
GRAPH [TITL='GRAFICO DE RESIDUOS TRADICIONAIS';\
      XTIT='VALORES AJUSTADOS (VTEST)';\
      YTIT='RESIDUOS (R)']\
      R,LINHA;VTEST;SYMB='+', '-'
"
-----
ESTUDO DA COLINEARIDADE
-----
"
MATR [2;N] XAT
MATR [N;2] XA
SYMM [2] XATXA
MATR [2;2] INVXATXA
MATR [2;2] DIAGONAL
DIAG [2] FIV
MATR [2;2] DIAGONAL
SCAL TRACO
VARI [NV=N] XAUX[1...2]
EQUA WT;P(XAUX[1...2])
CALC XAUX[]=(XAUX[]-MEAN(XAUX[]))/SQRT(VAR(XAUX[])*(N-1))
EQUATE XAUX;XAT
CALC XA=TRANS(XAT)
CALC XATXA=PROD(XAT;XA)
CALC FIV=INV(XATXA)
LRV [2;2] VVP;VPROP;LAMBDA;TRACO
FLRV XATXA;VVP
CALC VPROPT=TRANS(VPROP)
CALC DIAGONAL=PROD(VPROP;XATXA)
CALC NCOND=MAX(LAMBDA)/MIN(LAMBDA)
CALC MAXFIV=MAX(FIV)
PRINT MAXFIV,NCOND;DEC=4
"
STOP

```

ANEXO III

PROGRAMA VALIDEV.GEN

```

JOB "VALIDACAO-EV-L"
OPEN 'VTVAL.LIS','PREDIT.DAT';CHANNEL=2,3;I,O
READ [C=2;SETN=YES] ARVN,VT,D,H
CALC N=NVAL(VT)
VARI [NV=N] RP,VT2,VT3,VT6,VT9,VT11,VT12,VT13,\
      VT15,VT25,VT37,VT45,VT56,VT125,VT145,VT237,VT347
SCAL SQRP,MQRP,RRP2,MRP,VRP,MARP
"
-----
EV-MODELOS AJUSTADOS
-----
"
CALC VT2=-0.0140+0.0000267*D**2+0.00003233*D**2*H+0.00269*H
CALC VT3=0.01626+0.000034661*D**2*H
CALC VT6=0.000035608*D**2*H
CALC VT9=0.0000524*D**2+0.00003252*D**2*H
CALC VT11=0.0000857*D**2+0.00002677*D**2*H+0.0000073*D*H**2+\
0.000003*H**2
CALC VT12=-0.021+0.0077*D-0.000215*D**2-0.000036*D*H+0.00004*D**2*H-0.0033*H
CALC VT13=-0.0539+0.00995*D-0.000255*D**2-0.000263*D*H+0.0000438*D**2*H
CALC VT15=-0.0055+0.00168*D+0.00003294*D**2*H
CALC VT25=-0.0045+0.00204*H+0.00003396*D**2*H
CALC VT37=0.00551+0.0003143*D**2+(0.96E-06)*D**2*H**2
CALC VT45=0.0107+0.0000562*H**2+0.0000341*D**2*H
CALC VT56=0.01446+0.00003352*D**2*H+0.00000243*H**2*D
CALC VT125=-0.0232+0.00158*D+0.00186*H+0.00003240*D**2*H
CALC VT145=-0.0147+0.00186*D+0.0000682*H**2+0.00003207*D**2*H
CALC VT237=-0.0361+0.00378*H+0.0003219*D**2+0.000000867*D**2*H**2
CALC VT347=-0.013+0.0003316*D**2+0.000136*H**2+0.000000837*D**2*H**2
PRINT VT,VT2,VT3,VT6,VT9,VT11,VT12,VT13
PRINT VT,VT15,VT25,VT37,VT45,VT56
PRINT VT,VT125,VT145,VT237,VT347
CALC RP2=VT-VT2
CALC MARP2=SUM(ABS(RP2))/N
CALC SQRP2=SUM(RP2**2)
CALC MQRP2=SQRP2/N
CALC SQT2=VAR(VT2)*(N-1)
CALC RRP22=1-(SQRP2/SQT2)
CALC MRP2=SUM(RP2)/N
CALC VRP2=SUM((RP2-MEAN(RP2))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP2,MARP2,MQRP2,RRP22,VRP2;DEC=4
CALC RP3=VT-VT3
CALC MARP3=SUM(ABS(RP3))/N
CALC SQRP3=SUM(RP3**2)
CALC MQRP3=SQRP3/N
CALC SQT3=VAR(VT3)*(N-1)
CALC RRP23=1-(SQRP3/SQT3)
CALC MRP3=SUM(RP3)/N
CALC VRP3=SUM((RP3-MEAN(RP3))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP3,MARP3,MQRP3,RRP23,VRP3;DEC=4
CALC RP6=VT-VT6
CALC MARP6=SUM(ABS(RP6**2))/N
CALC SQRP6=SUM(RP6**2)
CALC MQRP6=SQRP6/N
CALC SQT6=VAR(VT6)*(N-1)
CALC RRP26=1-(SQRP6/SQT6)
CALC MRP6=SUM(RP6)/N
CALC VRP6=SUM((RP6-MEAN(RP6))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP6,MARP6,MQRP6,RRP26,VRP6;DEC=4
CALC RP9=VT-VT9
CALC MARP9=SUM(ABS(RP9**2))/N
CALC SQRP9=SUM(RP9**2)

```

ANEXO III

```

CALC MQRP9=SQR9/N
CALC SQT9=VAR(VT9)*(N-1)
CALC RRP9=1-(SQR9/SQT9)
CALC MRP9=SUM(RP9)/N
CALC VRP9=SUM((RP9-MEAN(RP9))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP9,MARP9,MQRP9,RRP9,VRP9;DEC=4
CALC RP11=VT-VT11
CALC MARP11=SUM(ABS(RP11))/N
CALC SQR11=SUM(RP11**2)
CALC MQR11=SQR11/N
CALC SQT11=VAR(VT11)*(N-1)
CALC RRP11=1-(SQR11/SQT11)
CALC MRP11=SUM(RP11)/N
CALC VRP11=SUM((RP11-MEAN(RP11))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP11,MARP11,MQR11,RRP11,VRP11;DEC=4
CALC RP12=VT-VT12
CALC MARP12=SUM(ABS(RP12))/N
CALC SQR12=SUM(RP12**2)
CALC MQR12=SQR12/N
CALC SQT12=VAR(VT12)*(N-1)
CALC RRP12=1-(SQR12/SQT12)
CALC MRP12=SUM(RP12)/N
CALC VRP12=SUM((RP12-MEAN(RP12))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP12,MARP12,MQR12,RRP12,VRP12;DEC=4
CALC RP13=VT-VT13
CALC MARP13=SUM(ABS(RP13**2))/N
CALC SQR13=SUM(RP13**2)
CALC MQR13=SQR13/N
CALC SQT13=VAR(VT13)*(N-1)
CALC RRP13=1-(SQR13/SQT13)
CALC MRP13=SUM(RP13)/N
CALC VRP13=SUM((RP13-MEAN(RP13))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP13,MARP13,MQR13,RRP13,VRP13;DEC=4
CALC RP15=VT-VT15
CALC MARP15=SUM(ABS(RP15))/N
CALC SQR15=SUM(RP15**2)
CALC MQR15=SQR15/N
CALC SQT15=VAR(VT15)*(N-1)
CALC RRP15=1-(SQR15/SQT15)
CALC MRP15=SUM(RP15)/N
CALC VRP15=SUM((RP15-MEAN(RP15))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP15,MARP15,MQR15,RRP15,VRP15;DEC=4
CALC RP25=VT-VT25
CALC MARP25=SUM(ABS(RP25))/N
CALC SQR25=SUM(RP25**2)
CALC MQR25=SQR25/N
CALC SQT25=VAR(VT25)*(N-1)
CALC RRP25=1-(SQR25/SQT25)
CALC MRP25=SUM(RP25)/N
CALC VRP25=SUM((RP25-MEAN(RP25))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP25,MARP25,MQR25,RRP25,VRP25;DEC=4
CALC RP37=VT-VT37
CALC MARP37=SUM(ABS(RP37**2))/N
CALC SQR37=SUM(RP37**2)
CALC MQR37=SQR37/N
CALC SQT37=VAR(VT37)*(N-1)
CALC RRP37=1-(SQR37/SQT37)
CALC MRP37=SUM(RP37)/N
CALC VRP37=SUM((RP37-MEAN(RP37))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP37,MARP37,MQR37,RRP37,VRP37;DEC=4
CALC RP45=VT-VT45
CALC MARP45=SUM(ABS(RP45))/N
CALC SQR45=SUM(RP45**2)
CALC MQR45=SQR45/N
CALC SQT45=VAR(VT45)*(N-1)

```

ANEXO III

```

CALC RRP245=1-(SQRP45/SQT45)
CALC MRP45=SUM(RP45)/N
CALC VRP45=SUM((RP45-MEAN(RP45))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP45,MARP45,MQRP45,RRP245,VRP45;DEC=4
CALC RP56=VT-VT56
CALC MARP56=SUM(ABS(RP56**2))/N
CALC SQRP56=SUM(RP56**2)
CALC MQRP56=SQRP56/N
CALC SQT56=VAR(VT56)*(N-1)
CALC RRP256=1-(SQRP56/SQT56)
CALC MRP56=SUM(RP56)/N
CALC VRP56=SUM((RP56-MEAN(RP56))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP56,MARP56,MQRP56,RRP256,VRP56;DEC=4
CALC RP125=VT-VT125
CALC MARP125=SUM(ABS(RP125))/N
CALC SQRP125=SUM(RP125**2)
CALC MQRP125=SQRP125/N
CALC SQT125=VAR(VT125)*(N-1)
CALC RRP2125=1-(SQRP125/SQT125)
CALC MRP125=SUM(RP125)/N
CALC VRP125=SUM((RP125-MEAN(RP125))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP125,MARP125,MQRP125,RRP2125,VRP125;DEC=4
CALC RP145=VT-VT145
CALC MARP145=SUM(ABS(RP145**2))/N
CALC SQRP145=SUM(RP145**2)
CALC MQRP145=SQRP145/N
CALC SQT145=VAR(VT145)*(N-1)
CALC RRP2145=1-(SQRP145/SQT145)
CALC MRP145=SUM(RP145)/N
CALC VRP145=SUM((RP145-MEAN(RP145))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP145,MARP145,MQRP145,RRP2145,VRP145;DEC=4
CALC RP237=VT-VT237
CALC MARP237=SUM(ABS(RP237))/N
CALC SQRP237=SUM(RP237**2)
CALC MQRP237=SQRP237/N
CALC SQT237=VAR(VT237)*(N-1)
CALC RRP2237=1-(SQRP237/SQT237)
CALC MRP237=SUM(RP237)/N
CALC VRP237=SUM((RP237-MEAN(RP237))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP237,MARP237,MQRP237,RRP2237,VRP237;DEC=4
CALC RP347=VT-VT347
CALC MARP347=SUM(ABS(RP347**2))/N
CALC SQRP347=SUM(RP347**2)
CALC MQRP347=SQRP347/N
CALC SQT347=VAR(VT347)*(N-1)
CALC RRP2347=1-(SQRP347/SQT347)
CALC MRP347=SUM(RP347)/N
CALC VRP347=SUM((RP347-MEAN(RP347))**2)/(N-1)
PRINT [C=3]MRP347,MARP347,MQRP347,RRP2347,VRP347;DEC=4
STOP

```

ANEXO III

PROGRAMA IORD.GEN

```

JOB "SELECCAO INDICE ORDENACAO"
OPEN 'STATEVL.DAT';CHANNEL=2;I
READ [C=2;P=*;SETN=YES] QMR,R2,R2AJ,PRESS,APRESS,QMARP,MAR,MAXFIV,NCOND
CALC N=NVAL(QMR)
PRINT N
OPEN 'PREDEVL.DAT';CHANNEL=3;I
READ [C=3;P=*;SETN=Y] MRP,MARP,MQRP,RRP2,VRP
VARI [NV=N] I1,I2,I3,I4,I5,I6,I7,I8,I9
CALC I1=1-((QMR-(MIN(QMR)))/MIN(QMR))
CALC I1=I1-MIN(I1)
CALC I1=I1/(MAX(I1))
PRINT QMR,I1
CALC I2=1-(((MAX(R2))-R2)/MAX(R2))
CALC I2=I2-MIN(I2)
CALC I2=I2/(MAX(I2))
PRINT R2,I2
CALC I3=1-(((MAX(R2AJ))-R2AJ)/MAX(R2AJ))
CALC I3=I3-MIN(I3)
CALC I3=I3/(MAX(I3))
PRINT R2AJ,I3
CALC I4=1-((PRESS-(MIN(PRESS)))/MIN(PRESS))
CALC I4=I4-MIN(I4)
CALC I4=I4/(MAX(I4))
PRINT PRESS,I4
CALC I5=1-((APRESS-(MIN(APRESS)))/MIN(APRESS))
CALC I5=I5-MIN(I5)
CALC I5=I5/(MAX(I5))
PRINT APRESS,I5
CALC I6=1-((QMARP-(MIN(QMARP)))/MIN(QMARP))
CALC I6=I6-MIN(I6)
CALC I6=I6/(MAX(I6))
PRINT QMARP,I6
CALC I7=1-((MAR-(MIN(MAR)))/MIN(MAR))
CALC I7=I7-MIN(I7)
CALC I7=I7/(MAX(I7))
PRINT MAR,I7
CALC I8=1-((MAXFIV-(MIN(MAXFIV)))/MIN(MAXFIV))
CALC I8=MAX(ABS(I8))+I8
CALC I8=I8/(MAX(I8))
PRINT MAXFIV,I8
CALC I9=1-((NCOND-(MIN(NCOND)))/MIN(NCOND))
CALC I9=MAX(ABS(I9))+I9
CALC I9=I9/(MAX(I9))
PRINT NCOND,I9
CALC I10=((MAX(ABS(MRP)))-(ABS(MRP)))/MAX(ABS(MRP))
CALC I10=(ABS(I10))-MIN(ABS(I10))
CALC I10=I10/(MAX(I10))
PRINT MRP,I10
CALC I11=1-((MARP-(MIN(MARP)))/MIN(MARP))
CALC I11=I11-MIN(I11)
CALC I11=I11/(MAX(I11))
PRINT MARP,I11
CALC I12=1-((MQRP-(MIN(MQRP)))/MIN(MQRP))
CALC I12=I12-MIN(I12)
CALC I12=I12/(MAX(I12))
PRINT MQRP,I12
CALC I13=1-(((MAX(RRP2))-RRP2)/MAX(RRP2))
CALC I13=I13-MIN(I13)
CALC I13=I13/(MAX(I13))
PRINT RRP2,I13
CALC I14=1-((VRP-(MIN(VRP)))/MIN(VRP))
CALC I14=I14-MIN(I14)

```

ANEXO III

```

CALC I14=I14/(MAX(I14))
PRINT VRP,I14
CALC IAJ=(I2+I3+I1)/3
CALC IP=(I10+I11+I12+I14+I13+I4+I5+I6+I7)/9
CALC IC=(I8+I9)/2
CALC IORD=IAJ+IP+IC
PRINT IAJ,IP,IC,IORD
"
STOP

```

PROGRAMA PRED.GEN

```

JOB "VALIDACAO-EVP-RH-L"
OPEN 'VMVAL.LIS';WIDTH=132;CHANNEL=2;I
OPEN 'REVPHLI.DAT';C=3;O
READ [C=2;SETN=YES] ARVN,VT,vm,d,h,D,H,hc,dc
CALC N=NVAL(VT)
VARI [NV=N] RP,R1
SCAL SQRP,MQRP,RRP2,MRP,VRP,MARP
CALC PI=ARCCOS(-1)
CALC R=(vm/VT)
CALC Z=(H-h)/H
"

```

```

-----
EVP-MODELOS AJUSTADOS
-----
"

```

```

CALC R1=1+2.1488*((h/H)-1)-1.1825*((h**2/H**2)-1)
CALC VM1=R1*VT
CALC P=h/H
CALC RP1=vm-VM1
PRINT [C=3]ARVN,P,d,RP1
STOP

```

PROGRAMA TABUL.GEN

```

JOB "ESTUDO DOS MODELOS POR CLASSES DE ALTURA E DIAMETRO- EVP-H-NL"
OPEN 'REVPHLI.DAT';WIDTH=132;C=2;I
OPEN 'CLEVPHLI.DAT';C=3;O
READ [C=2;SETN=Y]ARVN,P,d,RP4
SORT [LIM=(0.1,0.2...0.9);GROUPS=CH4]P
TABULATE [CLASS=CH4]RP4;MEANS=TMED4;MIN=TMIN4;MAX=TMAX4;VAR=TVAR4
CALC DP4=SQRT(TVAR4)
CALC LS4=TMED4+2*DP4
CALC LI4=TMED4-2*DP4
PRINT [C=3]TMED4,TMIN4,TMAX4,TVAR4,LS4,LI4
SORT [LIM=(5,10,15,20,25,30,35,40,45);GROUPS=CLD4]d
TABULATE [CLASS=CLD4]RP4;MEANS=TMED4;MIN=TDMIN4;MAX=TDMAX4;VAR=TDVAR4
CALC DPD4=SQRT(TDVAR4)
CALC DLS4=TMED4+2*DPD4
CALC DLI4=TMED4-2*DPD4
PRINT [C=3]TMED4,TDMIN4,TDMAX4,TDVAR4,DLS4,DLI4
STOP

```

ANEXO III

PROGRAMA ICLAH.GEN

```
JOB "SELECCAO MODELOS EVP-D-NL POR CLASSES DE ALTURA E DIAMETRO"
```

```
OPEN 'CLEVPDL.DAT';CHANNEL=2;I
```

```
FOR [NTIMES=20]
```

```
READ [C=2;P=*;SETN=YES] CL,TMED,TMIN,TMAX,TVAR,LS,LI
```

```
CALC N=NVAL(CL)
```

```
VARI [V=TMED$[1],TMED$[11]]TMED1
```

```
VARI [V=TMED$[2],TMED$[12]]TMED2
```

```
VARI [V=TMED$[3],TMED$[13]]TMED3
```

```
VARI [V=TMED$[4],TMED$[14]]TMED4
```

```
VARI [V=TMED$[5],TMED$[15]]TMED5
```

```
VARI [V=TMED$[6],TMED$[16]]TMED6
```

```
VARI [V=TMED$[7],TMED$[17]]TMED7
```

```
VARI [V=TMED$[8],TMED$[18]]TMED8
```

```
VARI [V=TMED$[9],TMED$[19]]TMED9
```

```
VARI [V=TMED$[10],TMED$[20]]TMED0
```

```
VARI [V=TMIN$[1],TMIN$[11]]TMIN1
```

```
VARI [V=TMIN$[2],TMIN$[12]]TMIN2
```

```
VARI [V=TMIN$[3],TMIN$[13]]TMIN3
```

```
VARI [V=TMIN$[4],TMIN$[14]]TMIN4
```

```
VARI [V=TMIN$[5],TMIN$[15]]TMIN5
```

```
VARI [V=TMIN$[6],TMIN$[16]]TMIN6
```

```
VARI [V=TMIN$[7],TMIN$[17]]TMIN7
```

```
VARI [V=TMIN$[8],TMIN$[18]]TMIN8
```

```
VARI [V=TMIN$[9],TMIN$[19]]TMIN9
```

```
VARI [V=TMIN$[10],TMIN$[20]]TMIN0
```

```
VARI [V=TMAX$[1],TMAX$[11]]TMAX1
```

```
VARI [V=TMAX$[2],TMAX$[12]]TMAX2
```

```
VARI [V=TMAX$[3],TMAX$[13]]TMAX3
```

```
VARI [V=TMAX$[4],TMAX$[14]]TMAX4
```

```
VARI [V=TMAX$[5],TMAX$[15]]TMAX5
```

```
VARI [V=TMAX$[6],TMAX$[16]]TMAX6
```

```
VARI [V=TMAX$[7],TMAX$[17]]TMAX7
```

```
VARI [V=TMAX$[8],TMAX$[18]]TMAX8
```

```
VARI [V=TMAX$[9],TMAX$[19]]TMAX9
```

```
VARI [V=TMAX$[10],TMAX$[20]]TMAX0
```

```
VARI [V=TVAR$[1],TVAR$[11]]TVAR1
```

```
VARI [V=TVAR$[2],TVAR$[12]]TVAR2
```

```
VARI [V=TVAR$[3],TVAR$[13]]TVAR3
```

```
VARI [V=TVAR$[4],TVAR$[14]]TVAR4
```

```
VARI [V=TVAR$[5],TVAR$[15]]TVAR5
```

```
VARI [V=TVAR$[6],TVAR$[16]]TVAR6
```

```
VARI [V=TVAR$[7],TVAR$[17]]TVAR7
```

```
VARI [V=TVAR$[8],TVAR$[18]]TVAR8
```

```
VARI [V=TVAR$[9],TVAR$[19]]TVAR9
```

```
VARI [V=TVAR$[10],TVAR$[20]]TVAR0
```

```
CALC I11=((MAX(ABS(TMED1))-ABS(TMED1)))/MAX(ABS(TMED1))
```

```
CALC I11=(ABS(I11))-MIN(ABS(I11))
```

```
CALC I11=I11/(MAX(I11))
```

```
PRINT TMED1,I11
```

```
CALC I12=((MAX(ABS(TMIN1))-ABS(TMIN1)))/MAX(ABS(TMIN1))
```

```
CALC I12=(ABS(I12))-MIN(ABS(I12))
```

```
CALC I12=I12/(MAX(I12))
```

```
PRINT TMIN1,I12
```

```
CALC I13=((MAX(ABS(TMAX1))-ABS(TMAX1)))/MAX(ABS(TMAX1))
```

```
CALC I13=(ABS(I13))-MIN(ABS(I13))
```

```
CALC I13=I13/(MAX(I13))
```

```
PRINT TMAX1,I13
```

```
CALC I14=((MAX(ABS(TVAR1))-ABS(TVAR1)))/MAX(ABS(TVAR1))
```

```
CALC I14=(ABS(I14))-MIN(ABS(I14))
```

```
CALC I14=I14/(MAX(I14))
```

```
PRINT TVAR1,I14
```

```
CALC I21=((MAX(ABS(TMED2))-ABS(TMED2)))/MAX(ABS(TMED2))
```

ANEXO III

```

CALC I21=(ABS(I21))-MIN(ABS(I21))
CALC I21=I21/(MAX(I21))
PRINT TMED2,I21
CALC I22=((MAX(ABS(TMIN2)))-(ABS(TMIN2)))/MAX(ABS(TMIN2)))
CALC I22=(ABS(I22))-MIN(ABS(I22))
CALC I22=I22/(MAX(I22))
PRINT TMIN2,I22
CALC I23=((MAX(ABS(TMAX2)))-(ABS(TMAX2)))/MAX(ABS(TMAX2)))
CALC I23=(ABS(I23))-MIN(ABS(I23))
CALC I23=I23/(MAX(I23))
PRINT TMAX2,I23
CALC I24=((MAX(ABS(TVAR2)))-(ABS(TVAR2)))/MAX(ABS(TVAR2)))
CALC I24=(ABS(I24))-MIN(ABS(I24))
CALC I24=I24/(MAX(I24))
PRINT TVAR2,I24
CALC I31=((MAX(ABS(TMED3)))-(ABS(TMED3)))/MAX(ABS(TMED3)))
CALC I31=(ABS(I31))-MIN(ABS(I31))
CALC I31=I31/(MAX(I31))
PRINT TMED3,I31
CALC I32=((MAX(ABS(TMIN3)))-(ABS(TMIN3)))/MAX(ABS(TMIN3)))
CALC I32=(ABS(I32))-MIN(ABS(I32))
CALC I32=I32/(MAX(I32))
PRINT TMIN3,I32
CALC I33=((MAX(ABS(TMAX3)))-(ABS(TMAX3)))/MAX(ABS(TMAX3)))
CALC I33=(ABS(I33))-MIN(ABS(I33))
CALC I33=I33/(MAX(I33))
PRINT TMAX3,I33
CALC I34=((MAX(ABS(TVAR3)))-(ABS(TVAR3)))/MAX(ABS(TVAR3)))
CALC I34=(ABS(I34))-MIN(ABS(I34))
CALC I34=I34/(MAX(I34))
PRINT TVAR3,I34
CALC I41=((MAX(ABS(TMED4)))-(ABS(TMED4)))/MAX(ABS(TMED4)))
CALC I41=(ABS(I41))-MIN(ABS(I41))
CALC I41=I41/(MAX(I41))
PRINT TMED4,I41
CALC I42=((MAX(ABS(TMIN4)))-(ABS(TMIN4)))/MAX(ABS(TMIN4)))
CALC I42=(ABS(I42))-MIN(ABS(I42))
CALC I42=I42/(MAX(I42))
PRINT TMIN4,I42
CALC I43=((MAX(ABS(TMAX4)))-(ABS(TMAX4)))/MAX(ABS(TMAX4)))
CALC I43=(ABS(I43))-MIN(ABS(I43))
CALC I43=I43/(MAX(I43))
PRINT TMAX4,I43
CALC I44=((MAX(ABS(TVAR4)))-(ABS(TVAR4)))/MAX(ABS(TVAR4)))
CALC I44=(ABS(I44))-MIN(ABS(I44))
CALC I44=I44/(MAX(I44))
PRINT TVAR4,I44
CALC I51=((MAX(ABS(TMED5)))-(ABS(TMED5)))/MAX(ABS(TMED5)))
CALC I51=(ABS(I51))-MIN(ABS(I51))
CALC I51=I51/(MAX(I51))
PRINT TMED5,I51
CALC I52=((MAX(ABS(TMIN5)))-(ABS(TMIN5)))/MAX(ABS(TMIN5)))
CALC I52=(ABS(I52))-MIN(ABS(I52))
CALC I52=I52/(MAX(I52))
PRINT TMIN5,I52
CALC I53=((MAX(ABS(TMAX5)))-(ABS(TMAX5)))/MAX(ABS(TMAX5)))
CALC I53=(ABS(I53))-MIN(ABS(I53))
CALC I53=I53/(MAX(I53))
PRINT TMAX5,I53
CALC I54=((MAX(ABS(TVAR5)))-(ABS(TVAR5)))/MAX(ABS(TVAR5)))
CALC I54=(ABS(I54))-MIN(ABS(I54))
CALC I54=I54/(MAX(I54))
PRINT TVAR5,I54
CALC I61=((MAX(ABS(TMED6)))-(ABS(TMED6)))/MAX(ABS(TMED6)))
CALC I61=(ABS(I61))-MIN(ABS(I61))

```

ANEXO III

```

CALC I61=I61/(MAX(I61))
PRINT TMED6,I61
CALC I62=((MAX(ABS(TMIN6))-(ABS(TMIN6)))/MAX(ABS(TMIN6)))
CALC I62=(ABS(I62))-MIN(ABS(I62))
CALC I62=I62/(MAX(I62))
PRINT TMIN6,I62
CALC I63=((MAX(ABS(TMAX6))-(ABS(TMAX6)))/MAX(ABS(TMAX6)))
CALC I63=(ABS(I63))-MIN(ABS(I63))
CALC I63=I63/(MAX(I63))
PRINT TMAX6,I63
CALC I64=((MAX(ABS(TVAR6))-(ABS(TVAR6)))/MAX(ABS(TVAR6)))
CALC I64=(ABS(I64))-MIN(ABS(I64))
CALC I64=I64/(MAX(I64))
PRINT TVAR6,I64
CALC I71=((MAX(ABS(TMED7))-(ABS(TMED7)))/MAX(ABS(TMED7)))
CALC I71=(ABS(I71))-MIN(ABS(I71))
CALC I71=I71/(MAX(I71))
PRINT TMED7,I71
CALC I72=((MAX(ABS(TMIN7))-(ABS(TMIN7)))/MAX(ABS(TMIN7)))
CALC I72=(ABS(I72))-MIN(ABS(I72))
CALC I72=I72/(MAX(I72))
PRINT TMIN7,I72
CALC I73=((MAX(ABS(TMAX7))-(ABS(TMAX7)))/MAX(ABS(TMAX7)))
CALC I73=(ABS(I73))-MIN(ABS(I73))
CALC I73=I73/(MAX(I73))
PRINT TMAX7,I73
CALC I74=((MAX(ABS(TVAR7))-(ABS(TVAR7)))/MAX(ABS(TVAR7)))
CALC I74=(ABS(I74))-MIN(ABS(I74))
CALC I74=I74/(MAX(I74))
PRINT TVAR7,I74
CALC I81=((MAX(ABS(TMED8))-(ABS(TMED8)))/MAX(ABS(TMED8)))
CALC I81=(ABS(I81))-MIN(ABS(I81))
CALC I81=I81/(MAX(I81))
PRINT TMED8,I81
CALC I82=((MAX(ABS(TMIN8))-(ABS(TMIN8)))/MAX(ABS(TMIN8)))
CALC I82=(ABS(I82))-MIN(ABS(I82))
CALC I82=I82/(MAX(I82))
PRINT TMIN8,I82
CALC I83=((MAX(ABS(TMAX8))-(ABS(TMAX8)))/MAX(ABS(TMAX8)))
CALC I83=(ABS(I83))-MIN(ABS(I83))
CALC I83=I83/(MAX(I83))
PRINT TMAX8,I83
CALC I84=((MAX(ABS(TVAR8))-(ABS(TVAR8)))/MAX(ABS(TVAR8)))
CALC I84=(ABS(I84))-MIN(ABS(I84))
CALC I84=I84/(MAX(I84))
PRINT TVAR8,I84
CALC I91=((MAX(ABS(TMED9))-(ABS(TMED9)))/MAX(ABS(TMED9)))
CALC I91=(ABS(I91))-MIN(ABS(I91))
CALC I91=I91/(MAX(I91))
PRINT TMED9,I91
CALC I92=((MAX(ABS(TMIN9))-(ABS(TMIN9)))/MAX(ABS(TMIN9)))
CALC I92=(ABS(I92))-MIN(ABS(I92))
CALC I92=I92/(MAX(I92))
PRINT TMIN9,I92
CALC I93=((MAX(ABS(TMAX9))-(ABS(TMAX9)))/MAX(ABS(TMAX9)))
CALC I93=(ABS(I93))-MIN(ABS(I93))
CALC I93=I93/(MAX(I93))
PRINT TMAX9,I93
CALC I94=((MAX(ABS(TVAR9))-(ABS(TVAR9)))/MAX(ABS(TVAR9)))
CALC I94=(ABS(I94))-MIN(ABS(I94))
CALC I94=I94/(MAX(I94))
PRINT TVAR9,I94
CALC I1=((MAX(ABS(TMED0))-(ABS(TMED0)))/MAX(ABS(TMED0)))
CALC I1=(ABS(I1))-MIN(ABS(I1))
CALC I1=I1/(MAX(I1))

```

ANEXO III

```
PRINT TMED0,I1
CALC I2=((MAX(ABS(TMIN0))-(ABS(TMIN0)))/MAX(ABS(TMIN0)))
CALC I2=(ABS(I2))-MIN(ABS(I2))
CALC I2=I2/(MAX(I2))
PRINT TMIN0,I2
CALC I3=((MAX(ABS(TMAX0))-(ABS(TMAX0)))/MAX(ABS(TMAX0)))
CALC I3=(ABS(I3))-MIN(ABS(I3))
CALC I3=I3/(MAX(I3))
PRINT TMAX0,I3
CALC I4=((MAX(ABS(TVAR0))-(ABS(TVAR0)))/MAX(ABS(TVAR0)))
CALC I4=(ABS(I4))-MIN(ABS(I4))
CALC I4=I4/(MAX(I4))
PRINT TVAR0,I4
CALC IORD1=(I11+I12+I13+I14)/4
CALC IORD2=(I21+I22+I23+I24)/4
CALC IORD3=(I31+I32+I33+I34)/4
CALC IORD4=(I41+I42+I43+I44)/4
CALC IORD5=(I51+I52+I53+I54)/4
CALC IORD6=(I61+I62+I63+I64)/4
CALC IORD7=(I71+I72+I73+I74)/4
CALC IORD8=(I81+I82+I83+I84)/4
CALC IORD9=(I91+I92+I93+I94)/4
CALC IORD10=(I1+I2+I3+I4)/4
PRINT IORD1,IORD2,IORD3,IORD4,IORD5,IORD6,IORD7,IORD8,IORD9,IORD10
ENDFOR
STOP
```

III.2. CARACTERIZAÇÃO DOS SUB-CONJUNTOS DE DADOS

Em seguida apresentam-se os histogramas de frequências relativas referentes às variáveis:

- volume total *c/c* no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- volume mercantil *c/c* acumulado a partir do solo no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- diâmetro *c/c* ao longo do perfil do tronco no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- altura ao longo do perfil do tronco no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- *DAP c/c* no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- altura total no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- diâmetro do cepo *c/c* no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação;
- altura do cepo no global dos dados e nos sub-conjuntos de ajustamento e de validação.

III.2.1. VARIÁVEL VOLUME TOTAL COM CASCA

Para a variável volume total com casca observamos, no global dos dados, que a amplitude dos volumes se encontra entre os 0.02 m^3 e os 1.5 m^3 . A maior incidência dos volumes ocorre na classe dos $]0-0.02] \text{ m}^3$ (51%). Os conjuntos de dados de ajustamento e validação acompanham

ANEXO III

ambos a tendência global dos dados no seu conjunto.

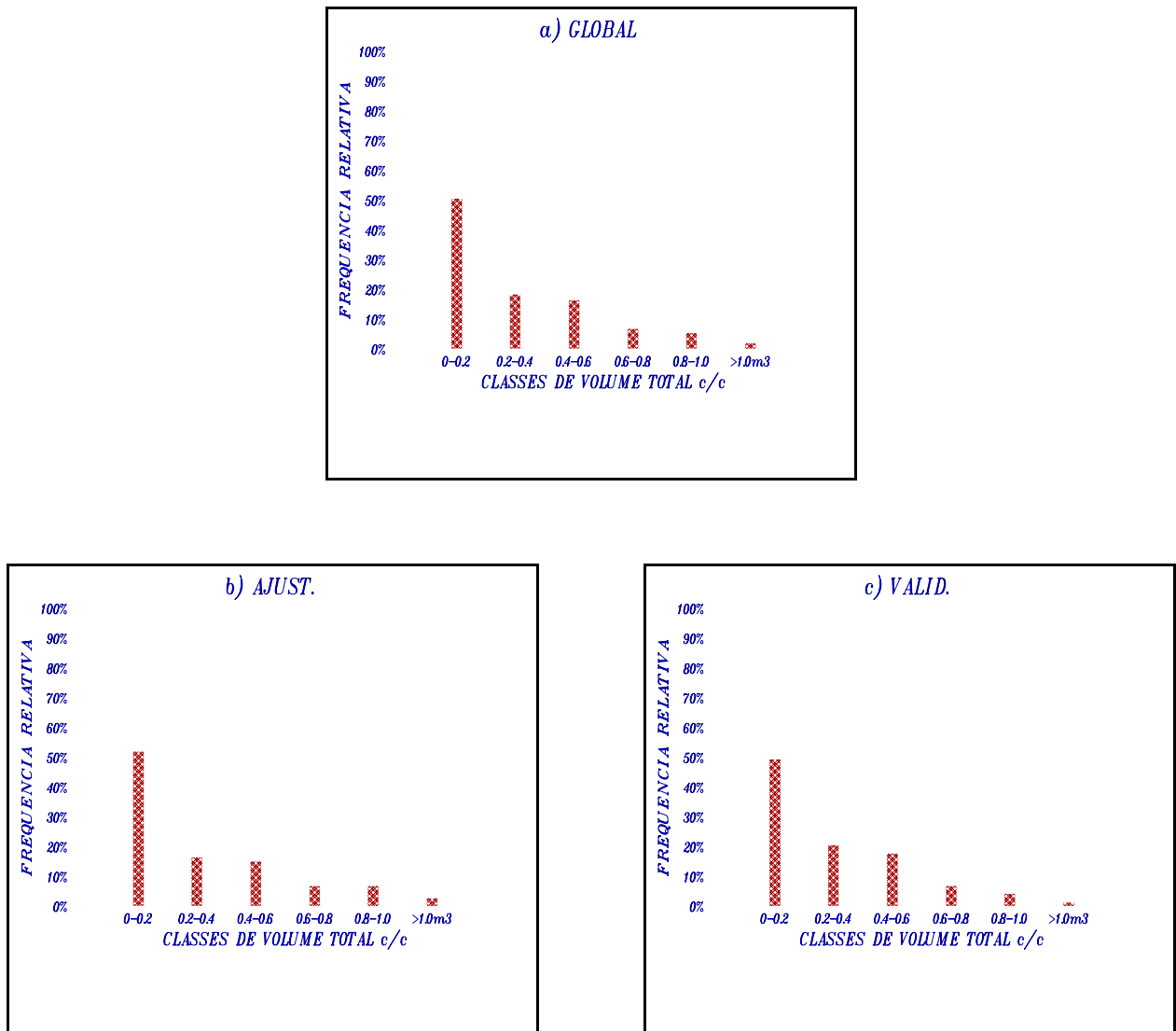


Figura AIII.1: Histogramas de frequências relativas - Volume total c/c (m): a) GLOBAL; b) AJUST.;

c) VALID.

III.2.2. VARIÁVEL VOLUME MERCANTIL COM CASCA A PARTIR DO SOLO

Para a variável volume mercantil com casca acumulado a partir do solo observamos, no

ANEXO III

global dos dados, que a amplitude dos volumes se encontra entre os 0.01 m^3 e os 1.4 m^3 . A maioria dos dados incidiu na classe dos $]0-0.02] \text{ m}^3$ (50%). Os conjuntos dos dados de ajustamento e de validação acompanham ambos a tendência global dos dados no seu conjunto.

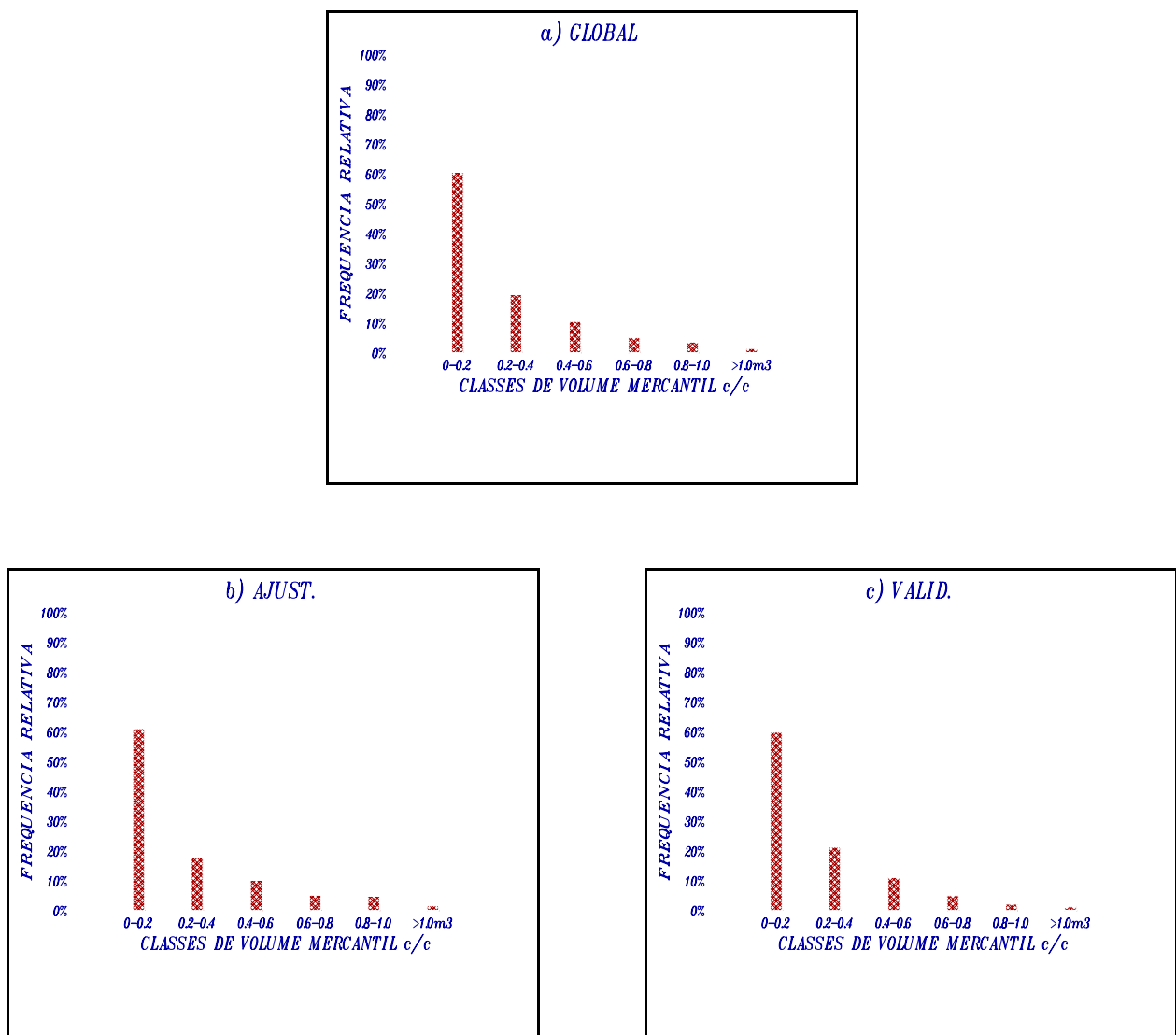


Figura AIII.2: Histogramas de frequências relativas - Volume mercantil c/c (m): a) GLOBAL; b) AJUST.;

c) VALID.

III.2.3. VARIÁVEIS DIÂMETRO COM CASCA AO LONGO DO PERFIL, ALTURA AO LONGO DO PERFIL, *DAP* COM CASCA, ALTURA TOTAL, DIÂMETRO DO CEPO COM CASCA E ALTURA DO CEPO

Relativamente às variáveis diâmetro com casca ao longo do perfil, altura ao longo do perfil, *DAP*, altura total, diâmetro do cepo com casca e altura do cepo podemos verificar pelas observações dos respectivos histogramas que os conjuntos de dados de ajustamento e de validação acompanham a tendência geral dos dados no seu global (Figuras AIII.3, AIII.4, AIII.5, AIII.6, AIII.7 e AIII.8).

ANEXO III

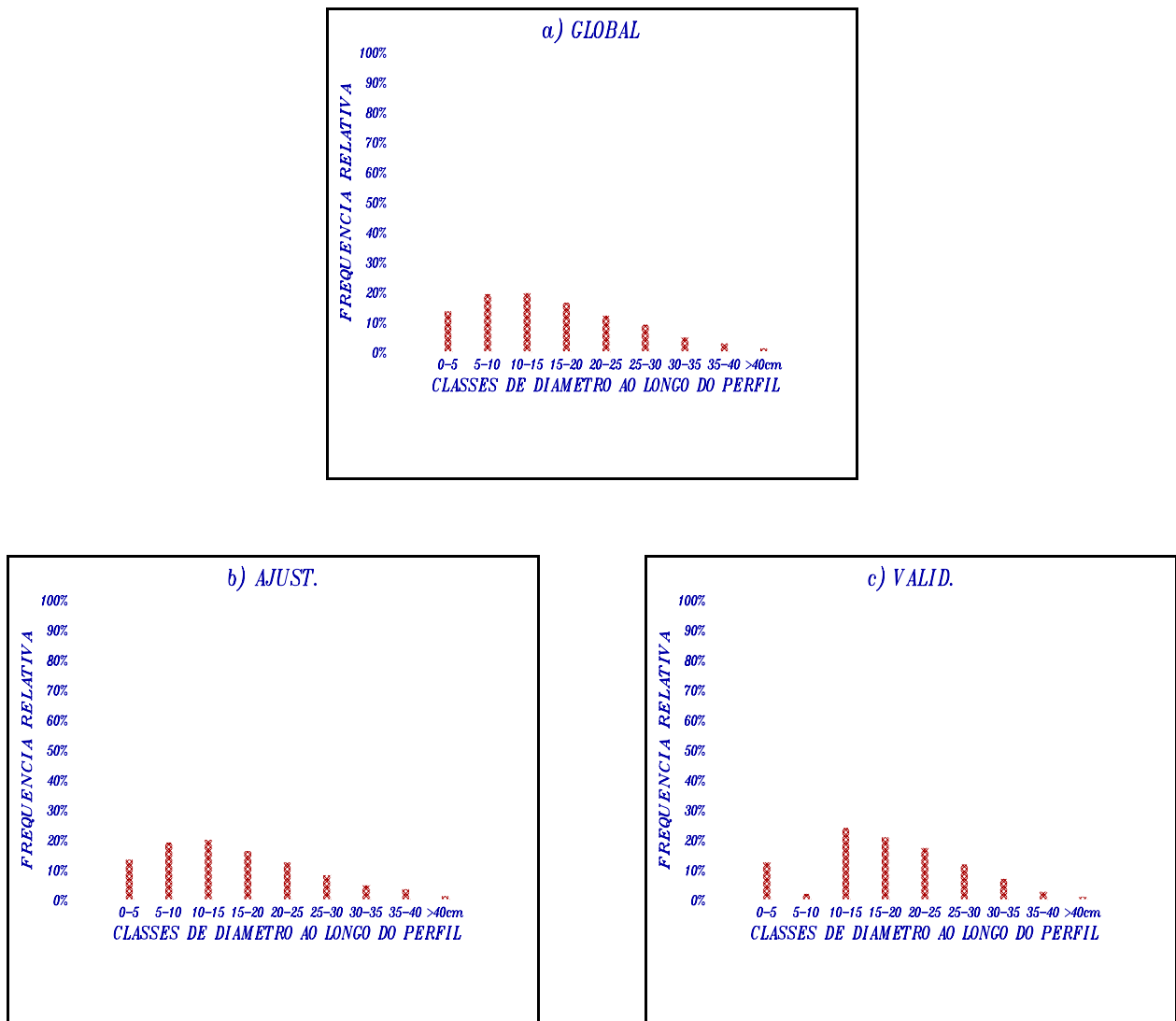


Figura AIII.3: Histogramas de frequências relativas - Diâmetro c/c ao longo do perfil (cm): a) GLOBAL;

b) AJUST.; c) VALID.

ANEXO III

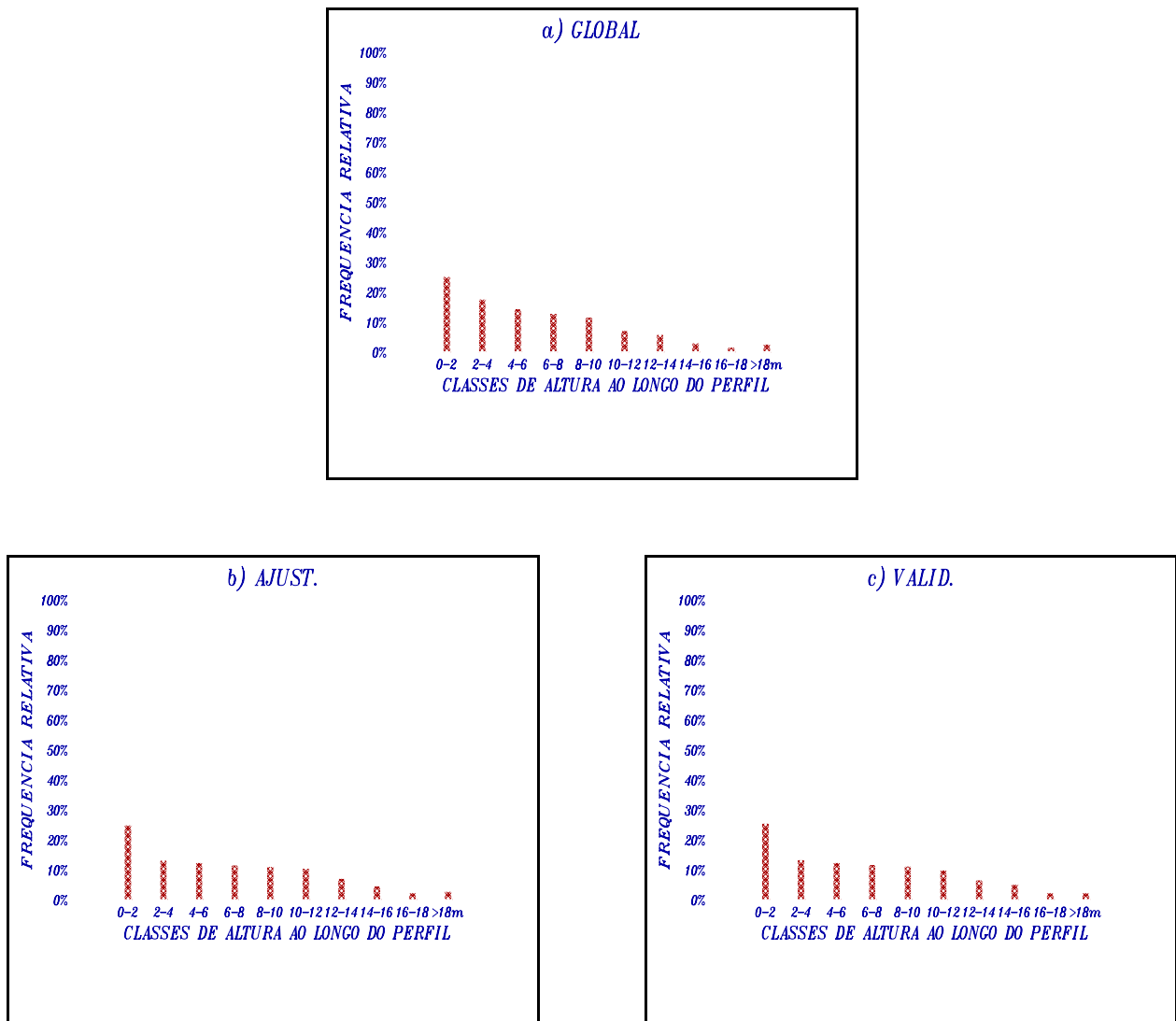


Figura AIII.4: Histogramas de frequências relativas - Altura ao longo do perfil (m): a) GLOBAL; b) AJUST.;

c) VALID.

ANEXO III

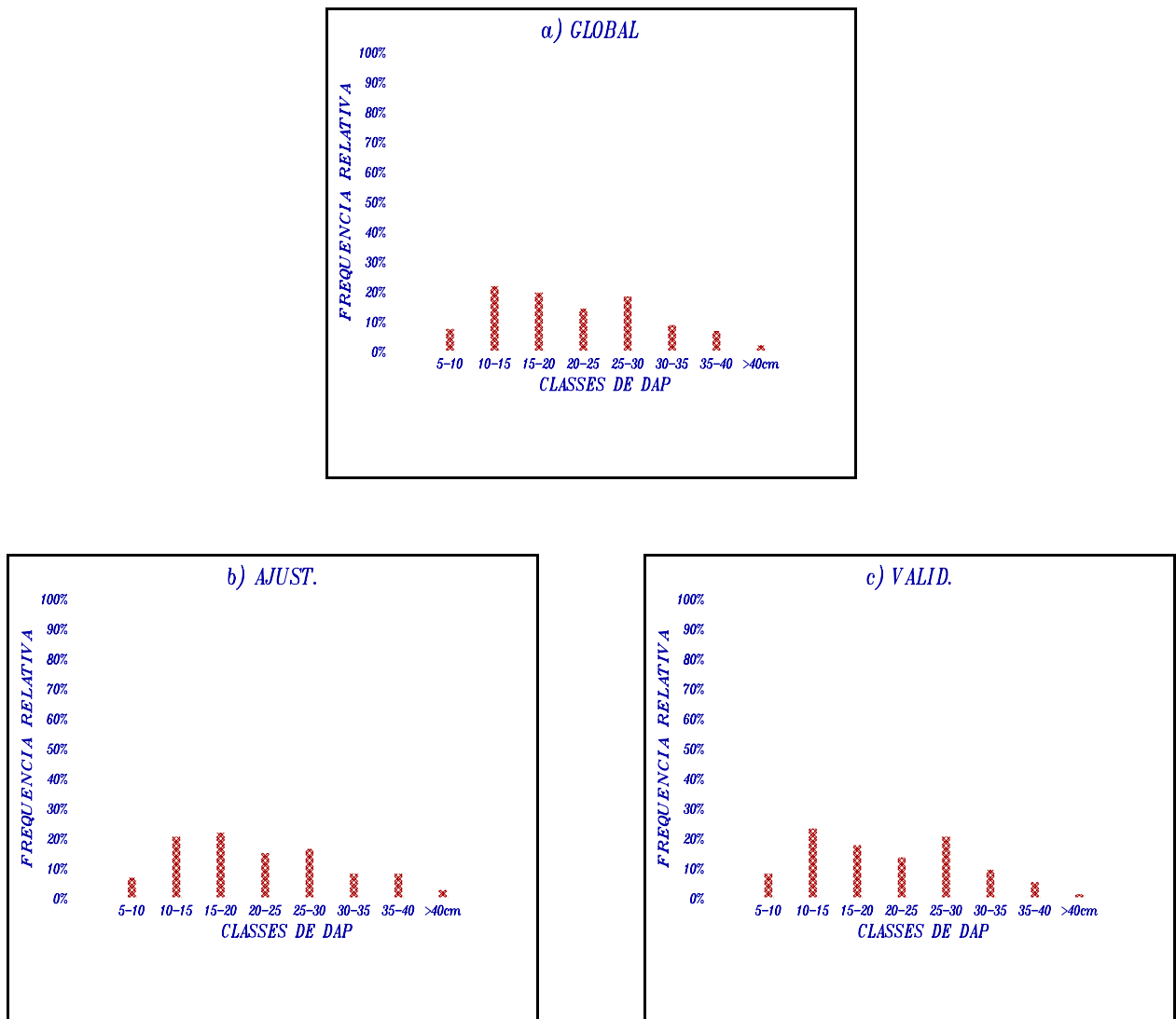


Figura AIII.5: Histogramas de frequências relativas - DAP c/c (cm): a) GLOBAL; b) AJUST.; c) VALID.

ANEXO III

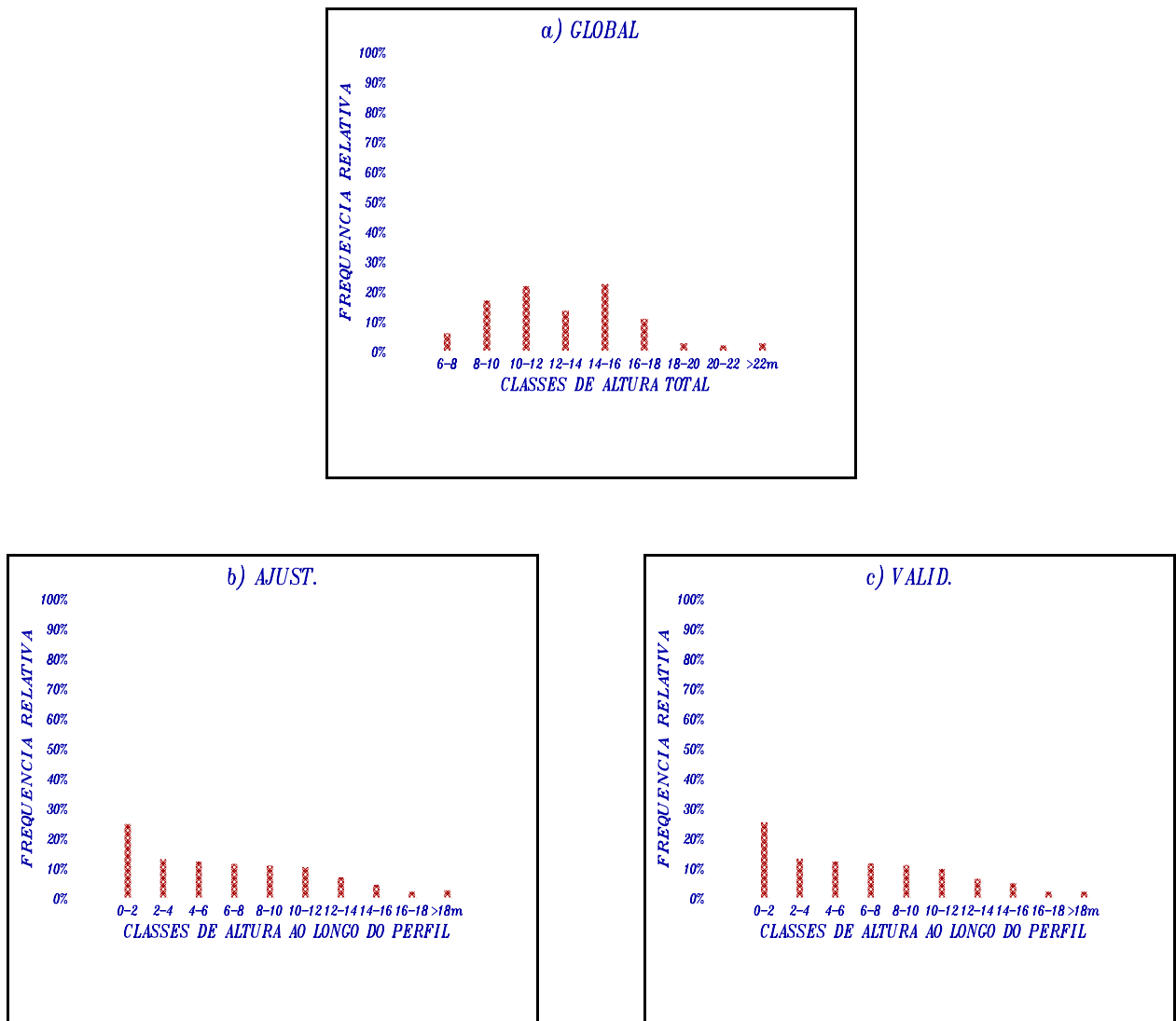


Figura AIII.6: Histogramas de frequências relativas - Altura total (m): a) GLOBAL; b) AJUST.; c) VALID.

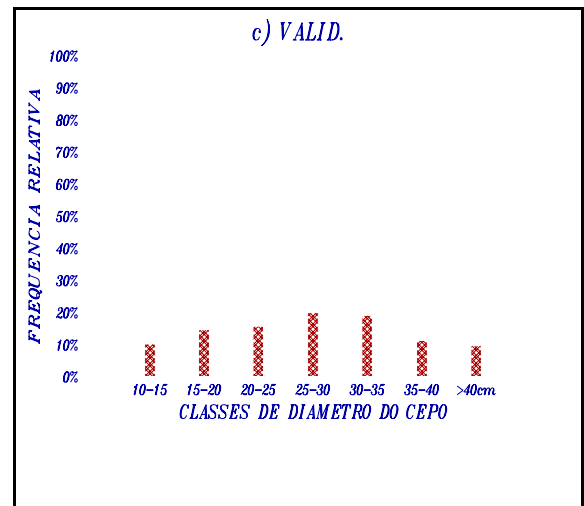
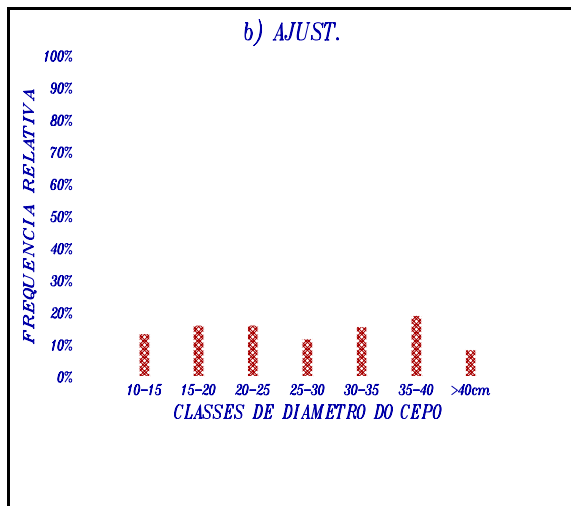
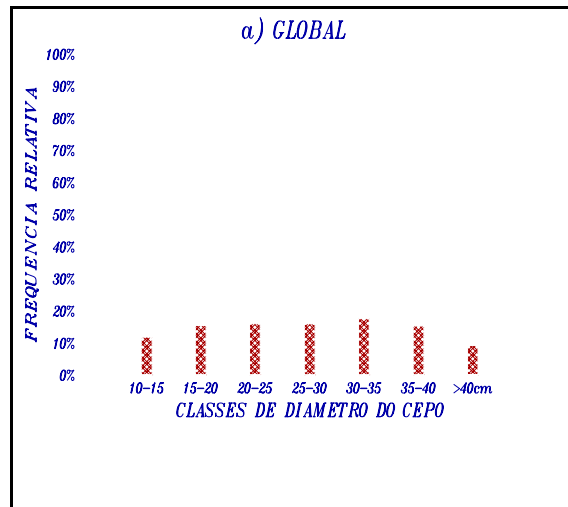


Figura AIII.7: Histogramas de frequências relativas - Diâmetro do cepo c/c (cm): a) GLOBAL; b) AJUST.;

c) VALID.

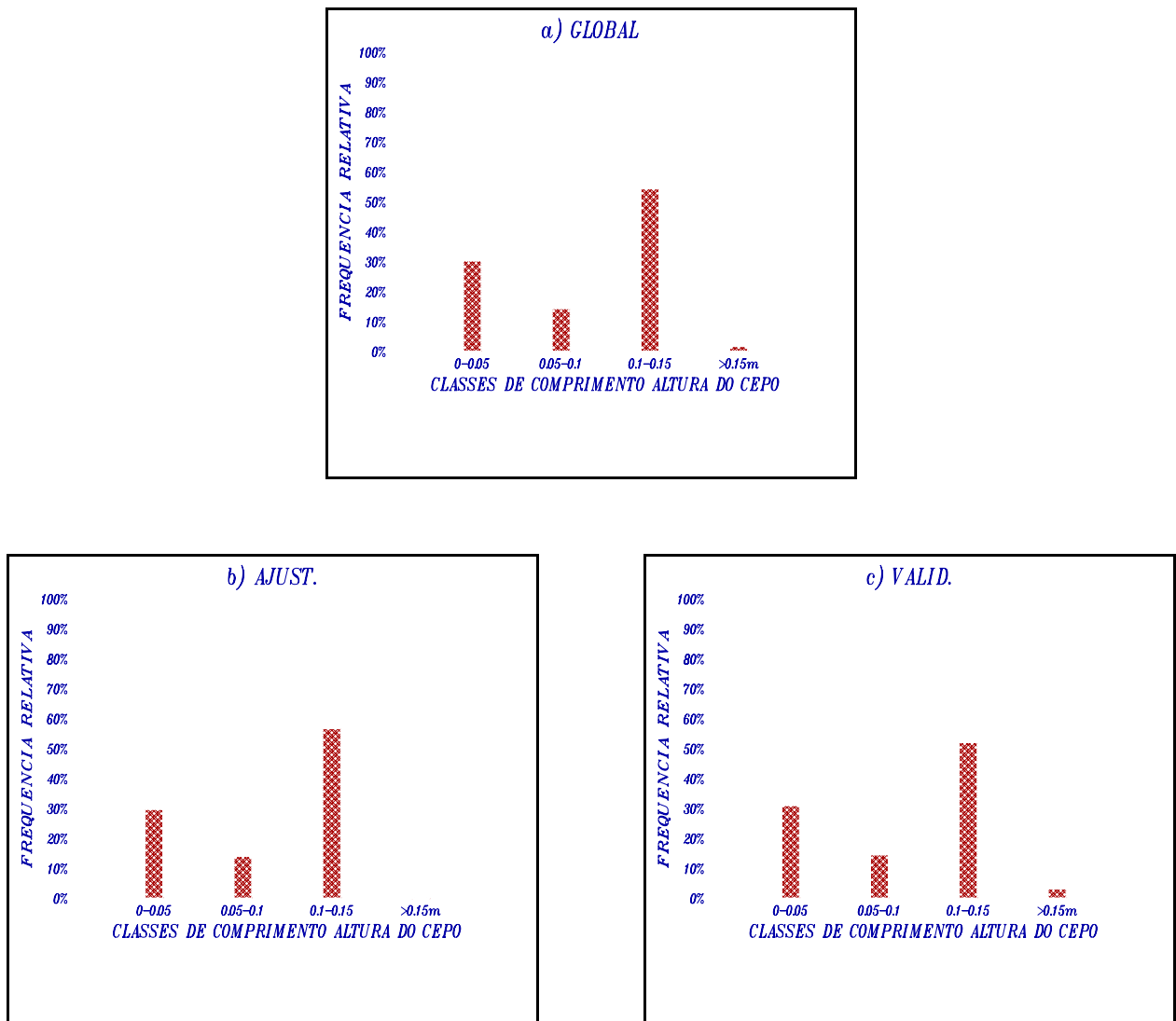


Figura AIII.8: Histogramas de frequências relativas - Altura do cepo (m): a) GLOBAL; b) AJUST.; c) VALID.