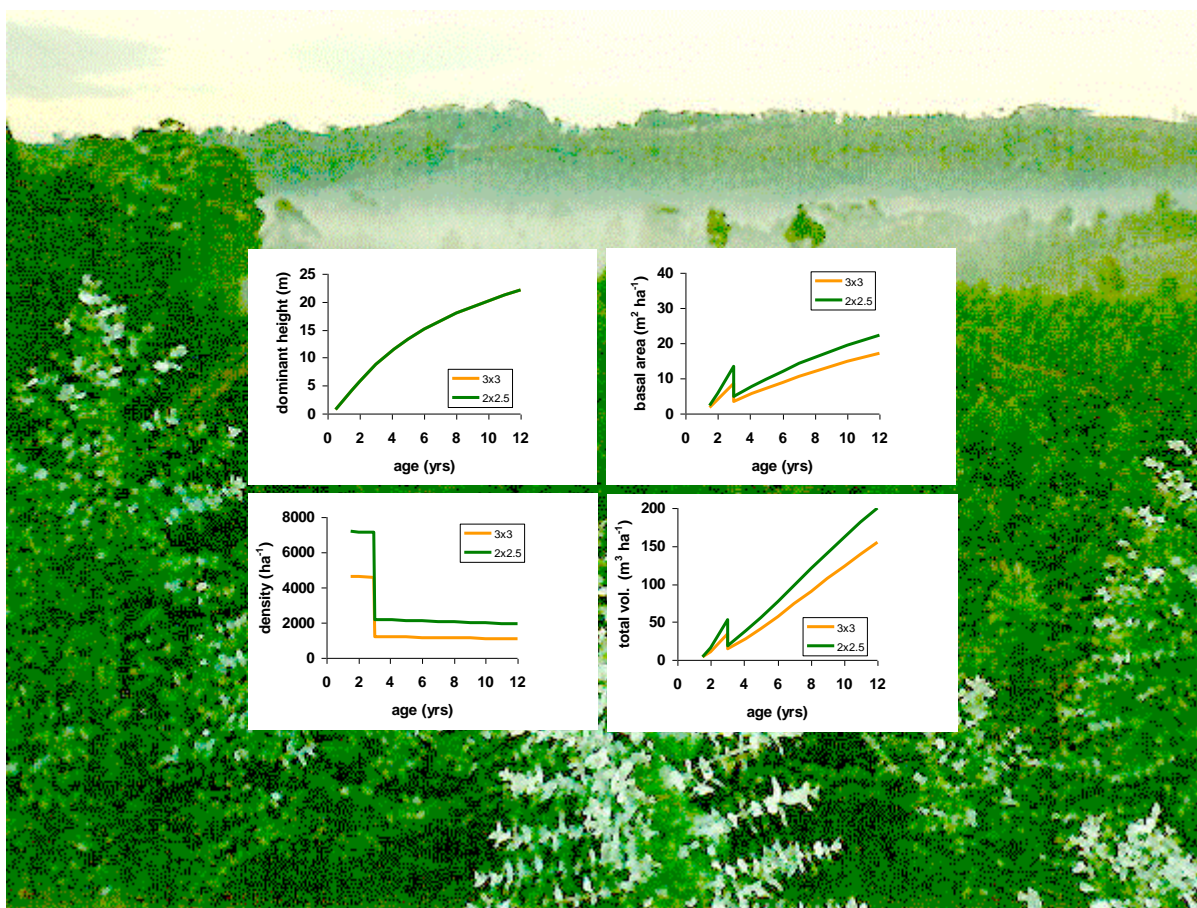


## O modelo GLOBULUS 3.0 dados e equações

Margarida Tomé, Tânia Oliveira e Paula Soares



GIMREF

Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais

Publicações GIMREF – RC2/2006

Como referenciar este documento:

Tomé, M., Oliveira, T., Soares, P. 2006 O modelo Globulus 3.0. Publicações GIMREF - RC2/2006. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 23 pp.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projecto POCTI/AGG/4221/2001, Modelação da sustentabilidade da produção de madeira e do armazenamento de carbono de eucaliptais ao nível da unidade de gestão – GLOBLAND, financiado pela FCT e pelo POCTI e participado pelo fundo comunitário europeu FEDER.

## ÍNDICE

Introdução.....	2
Variáveis climáticas utilizadas.....	3
Dados .....	7
Estrutura do modelo Globulus 3.0.....	12
Componentes do modelo Globulus 3.0 .....	14
Equações do modelo Globulus 3.0 .....	15
Referências bibliográficas .....	23

## Introdução

O modelo Globulus 2.1 - um modelo empírico de crescimento e produção ao nível do povoamento desenvolvido para eucaliptais portugueses - tem por base da sua aplicação a ideia de que o país se pode classificar em zonas relativamente homogéneas do ponto de vista edafo-climático ou climático (8 regiões) e que, com base nestas, se podem parametrizar as componentes do modelo em função da localização dos povoamentos. Na concepção do modelo Globulus 3.0 pensou-se antes em associar a cada povoamento um conjunto de variáveis climáticas que expressassem as diferenças no crescimento. Nas equações que constituem o modelo Globulus 3.0 foram seleccionadas as seguintes variáveis: altimetria, dias de geada, temperatura média do ar, precipitação total e dias de precipitação com valores superiores a 0.1 mm.

A maior parte das componentes do modelo Globulus 3.0 já estavam disponíveis no modelo Globulus 2.1. No entanto, o modelo Globulus 3.0 difere das versões anteriores (Tomé *et al.*, 2001) ao considerar algumas das funções de crescimento função de variáveis climáticas e ao apresentar valores de produção, para povoamentos em talhadia, anteriores à operação de selecção de varas que se realiza normalmente aos 3 anos. Assim, as equações de predição do nº de varas aos 3 anos, no momento imediatamente a seguir à selecção de varas (talhadia), a equação de crescimento para a densidade de touças vivas e a equação de predição do número de varas antes da selecção de varas foram desenvolvidas pela primeira vez neste modelo com o objectivo de simular a transição entre rotações e o comportamento do povoamento antes da selecção de varas na fase de talhadia.

## Variáveis climáticas utilizadas

Na concepção do modelo Globulus 3.0 pensou-se em associar a cada povoamento um conjunto de variáveis climáticas que expressassem as diferenças no crescimento. A implementação desta ideia passou pelo conhecimento, para cada povoamento, das coordenadas militares de modo a permitir localizá-lo num sistema de informação geográfica e associar-lhe uma série de variáveis. Foi criada uma grelha com malha de 2 km de lado, centrada na rede de parcelas do Inventário Florestal Nacional, que foi sobreposta à carta de limite do continente (com estuários, foz de rios e limites de áreas de sapal) do Atlas do Ambiente. Foram excluídas da grelha todas as quadrículas que recaíam sobre o Oceano e sobre Espanha. Obtiveram-se 23121 quadrículas com 4 km<sup>2</sup> de área (figura 1).

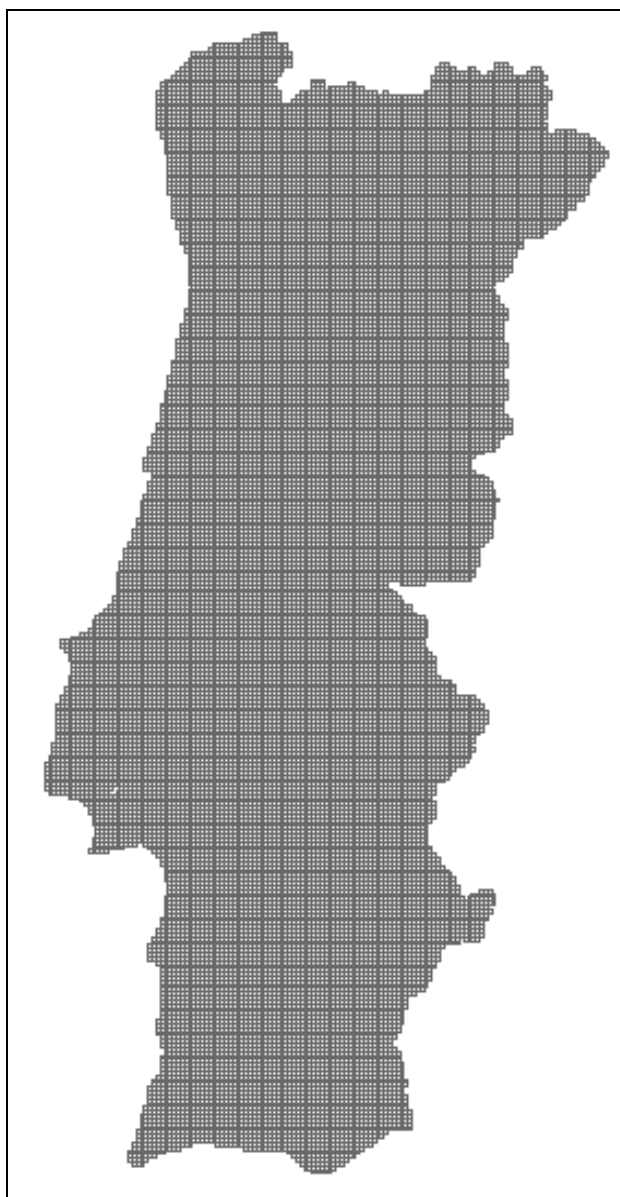
Cada quadrícula foi então caracterizada em termos das seguintes variáveis:

- ❖ Altimetria
- ❖ Número de dias de geada
- ❖ Número de meses de geada no ano agrícola (Outubro a Setembro)
- ❖ Humidade do ar
- ❖ Insolação (horas)
- ❖ Radiação solar (Kcal cm<sup>-2</sup>)
- ❖ Temperatura média do ar (°C)
- ❖ Escoamento (mm)
- ❖ Evapotranspiração (mm)
- ❖ Dias de precipitação superior a 0.1mm
- ❖ Precipitação total
- ❖ Tipo de Verão
- ❖ Tipo de Inverno

Todas as Cartas, exceptuando as pertencentes ao mapa dos Contrastes Térmicos, têm valores numéricos, sendo a cada quadrícula da grelha atribuído o valor da média ponderada pela área. O mapa dos Contrastes Térmicos, sendo constituído por valores qualitativos, teve que ser tratado de forma diferente: a cada quadrícula foi atribuída a classe que maior área ocupava dentro da mesma.

Como foram utilizados mapas de diferentes fontes, existem discrepâncias nos limites de Portugal Continental considerados. Assim, quando se efectuou o cruzamento de toda a informação, algumas das quadrículas, principalmente as de fronteira, ficaram sem

informação. Para contornar esta questão, atribui-se um valor a estas quadrículas considerando os valores das adjacentes.



**Figura 1.** Mapa com a grelha

Nas equações que constituem o modelo Globulus 3.0 foram seleccionadas as seguintes variáveis:

### **Altimetria**

Utilizou-se como base de trabalho a Carta Hipsométrica, à escala 1:1.000.000, do Atlas do Ambiente. Esta carta de curvas de nível, em metros, foi convertida para formato TIN e posteriormente para formato GRID. Este ficheiro, para poder ser convertido de formato

*raster* para *vectorial*, foi convertido para ficheiro inteiro e reclassificado. Para facilitar o tratamento da informação e considerando que acima dos 1 000 metros já não há condições para o desenvolvimento do eucalipto, considerando intervalos de 100 metros de cota até aos 1000 m de altitude e uma classe para cotas superiores a 1 000 m. Obteve-se assim uma nova carta com 11 classes de altitude, às quais foi atribuído o valor central da classe correspondente (50m, 150m, 250m, 350m, 450m, 550m, 650m, 750m, 850m, 950m e 1 400m). Esta carta foi então convertida para formato *vectorial* e sobreposta à grelha. Para a definição das classes de altitude considerou-se como valor mínimo de cota os 0 metros (valor que aparece apenas no litoral) e como máximo 1 800 m.

### **Dias de Geadas**

Utilizou-se como base de trabalho a Carta de número de dias de geada no ano, à escala 1:1.000.000, do Atlas do Ambiente. Esta carta representa os valores médios anuais dos dias em que se observou ocorrência de geada no período de 1941-1960. Tendo como base os valores das normais climatológicas relativos a 107 estações climáticas foram traçadas as isopletas que unem pontos de igual “número de dias no ano” com geada, obtendo-se uma carta de frequência, em número de dias, da ocorrência de geada. Atribuiu-se a cada classe o valor central da mesma, considerando como valor mínimo 0 dias de geada e máximo 90 dias de geada.

### **Temperatura média do ar**

Utilizou-se como base de trabalho a Carta da Temperatura, à escala 1:1.000.000, do Atlas do Ambiente. Esta carta representa os valores médios anuais, em graus centígrados, da temperatura média diária do ar. Esta carta foi efectuada com base na informação das normais climatológicas de referência, do período de 1931-1960, relativa a 52 estações climatológicas e foi complementada com a informação de mais 93 estações relativas a períodos superiores a 10 anos e inferiores a 30 anos. A temperatura média diária do ar é calculada a partir da média das temperaturas máxima e mínima diárias medidas. As temperaturas médias do ar no mês e no ano são calculadas pela média aritmética dos valores da temperatura média de todos os dias do mês e dos doze meses do ano, respectivamente. A Carta resulta do traçado de linhas que unem pontos com igual valor médio anual de temperatura do ar, obtidos por interpolação dos valores registados nas 145 estações climatológicas consideradas. Sendo a distribuição da temperatura do ar numa determinada região condicionada principalmente por factores fisiográficos, tais como o relevo (altitude e exposição), a natureza do solo e do seu revestimento e a proximidade de grandes superfícies de água, as interpolações efectuadas atenderam, especialmente, a

factores fisiográficos. Atribuiu-se a cada classe o valor central da mesma, considerando como valor mínimo a temperatura média diária do mês mais frio registada em Portugal no período 1931-1960: 2,4°C nas Penhas Douradas, no mês de Janeiro e como máxima a temperatura média diária do mês mais quente: 25,1° C registados em Julho em Campo Maior.

### **Precipitação total**

Utilizou-se como base de trabalho a Carta de quantidade de precipitação total, em milímetros, à escala 1:500.000, de Daveau *et al.* (1977). Esta carta representa os valores médios anuais da totalidade de precipitação medida nos udómetros e expressa em milímetros, ou seja, em litros por metro quadrado. Esta carta foi efectuada com base nos valores das normais climatológicas de referência, do período de 1931-1960, relativos a 52 estações climatológicas e 282 estações udométricas, complementados com informação de mais 281 locais onde funcionaram 93 estações climatológicas e 188 estações udométricas e termo-udométricas, durante períodos de tempo variáveis entre 10 e 30 anos. Atribuiu-se a cada classe o valor central da mesma, considerando como valor mínimo 0 mm de precipitação e como valor máximo 4 000 mm, segundo o indicado na tabela de valores da Carta.

### **Dias de precipitação superior a 0.1mm**

Utilizou-se como base de trabalho a Carta da frequência das precipitações, em milímetros, à escala 1:500.000, de Daveau *et al.* (1977). Esta carta representa o número médio anual de dias com pelo menos 0,1 mm de precipitação no período 1931-1960. Atribuiu-se a cada classe o valor central da mesma, considerando como valor mínimo 0 dias de precipitação e como valor máximo 100 dias, segundo o indicado na tabela de valores da Carta.

## Dados

Foi feita uma análise exaustiva dos dados disponíveis em Portugal sobre o crescimento do eucalipto, tendo sido seleccionados os seguintes dados para integração do sistema florestal a desenvolver:

- ❖ parcelas permanentes da SILVICAIMA (1995 a 2003)
- ❖ ensaios de compassos da CELBI: Alto do Vilão, Quinta do Paço e Vilar de Luz
- ❖ parcelas testemunhas e fertilizadas do ensaio de fertilização e rega instalado pela CELBI em colaboração com o ISA
- ❖ dados do inventário florestal contínuo da SILVICAIMA (1998 a 2004)
- ❖ dados do inventário florestal contínuo da PORTUCEL (2000 e 2001)
- ❖ parcelas permanentes da CELBI (1970 a 2002):

Parcelas utilizadas:

A001	A020	A041	B026	C008	C029	C049	C069
A001A	A021	A042	B028	C009	C030	C050	C070
A002	A022	A043	B031	C010	C031	C051	C071
A003	A023	A044	B032	C011	C032	C052	C072
A004	A024	A046	B033	C012	C033	C053	C073
A005	A025	A047	B038	C013	C034	C054	C074
A006	A026	A048	B042	C014	C035	C055	C075
A007	A027	A049	B045	C016	C036	C056	C076
A008	A028	A050	B046	C017	C037	C057	C077
A009	A029	A051	B050	C018	C038	C058	C078
A010	A030	B007	B051	C019	C039	C059	C079
A011	A031	B008	B105	C020	C040	C060	C080
A012	A032	B016	B106	C021	C041	C061	C081
A013	A033	B017	C001	C022	C042	C062	
A014	A034	B018	C002	C023	C043	C063	
A015	A035	B019	C003	C024	C044	C064	
A016	A036	B020	C004	C025	C045	C065	
A017	A037	B023	C005	C026	C046	C066	
A018	A039	B024	C006	C027	C047	C067	
A019	A040	B025	C007	C028	C048	C068	

Parcelas excluídas:

B001	B009	B021	B036	B047	B059	B066	B083
B002	B010	B022	B037	B053	B060	B067	B084
B003	B011	B027	B039	B054	B061	B068	B085
B004	B012	B029	B040	B055	B062	B069	B098
B005	B013	B030	B041	B056	B063	B070	B099
B006	B014	B034	B043	B057	B064	B071	
B007B	B015	B035	B044	B058	B065	B075	

Foram utilizados apenas os dados relativos a medições anuais. Excluiu-se informação de povoamentos clonais. Os dados utilizados no desenvolvimento do modelo Globulus 3.0 são provenientes de parcelas permanentes e ensaios, assim como de inventários florestais contínuos das empresas de celulose, o que teve implicações em termos das variáveis a utilizar no desenvolvimento do mesmo. A mais importante relaciona-se com o facto de no inventário florestal das empresas apenas se contarem as árvores/varas com diâmetro à altura do peito inferior a 5/6cm (consoante a empresa), não havendo registos dos respectivos diâmetros, enquanto que nalguns ensaios esta informação está disponível, pois são medidas todas as árvores. Assim decidiu-se criar dois conjuntos de variáveis: as que consideram todas as árvores, independentemente do seu diâmetro (densidade, área basal, volumes, biomassas) e as que apenas consideram as árvores com diâmetro superior a 5 cm.

Cada registo utilizado no modelo corresponde às seguintes variáveis resultantes do processamento dos dados da medição de uma parcela permanente ou de uma parcela de inventário:

- ❖ identificação da parcela e da medição, incluindo talhão, parcela e concelho
- ❖ ano da medição e/ou idade
- ❖ número de árvores à plantação ou número de varas após monda no caso das talhadias (quando esta informação não foi disponibilizada, considerou-se o número de árvores/varas da primeira medição disponível) e idade associada
- ❖ número de árvores/varas vivas e número de árvores/varas vivas com  $d > 5$  cm
- ❖ número de touças vivas e número de touças vivas com  $d > 5$  cm
- ❖ altura dominante
- ❖ diâmetro dominante
- ❖ área basal e área basal para árvores/varas com  $d > 5$  cm
- ❖ diâmetro quadrático médio
- ❖ índice de qualidade da estação
- ❖ volume total com casca e volume total sem casca para árvores/varas com  $d > 5$  cm
- ❖ volume total com casca e volume total sem casca para árvores/varas com  $d > 5$  cm
- ❖ volume total com casca e sem cepo e volume total com casca e sem cepo para árvores/varas com  $d > 5$  cm
- ❖ volume total sem casca e sem cepo e volume total sem casca e sem cepo para árvores/varas com  $d > 5$  cm

- ❖ volume mercantil com casca e sem cepo a diâmetro de despona de 5 cm e volume mercantil com casca e sem cepo a diâmetro de despona de 5 cm para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ volume mercantil sem casca e sem cepo a diâmetro de despona de 5 cm e volume mercantil sem casca e sem cepo a diâmetro de despona de 5 cm para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ biomassa de lenho e biomassa de lenho para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ biomassa de casca e biomassa de casca para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ biomassa de folhas e biomassa de folhas para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ biomassa de ramos e biomassa de ramos para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$
- ❖ biomassa total e biomassa total para árvores/varas com  $d > 5\text{cm}$

Os quadros 1 e 2 caracterizam, por empresa, o conjunto total de dados a utilizar no ajustamento e validação das funções de predição, antes das restrições, respectivamente para povoamentos em 1ª rotação e em talhadia.

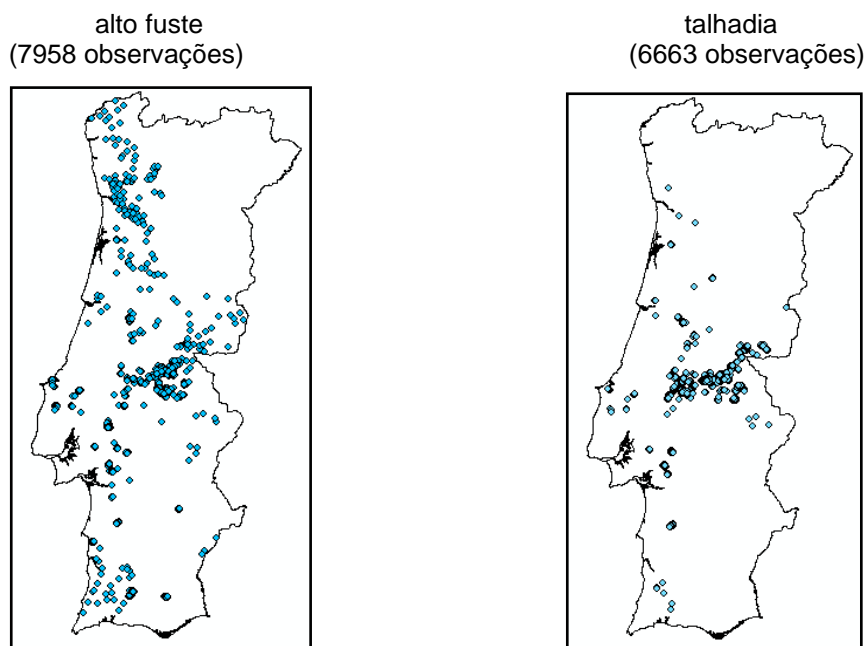
**Quadro 1.** Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – 1ª rotação (n=10754).

variável	empresa		
	CELBI	SILVICAIMA	PORTUCEL
<b>Nobs</b>	1634	5380	3740
<b>Idade</b>			
min	0.4	3.5	2.0
média	8.9	9.0	8.6
max	34.7	18.3	19.4
<b>hdom</b>			
min	1.1	5.5	4.0
média	18.6	18.0	15.9
max	37.8	33.2	32.78
<b>G</b>			
min	0	0.2	0.4
média	17.2	12.5	11.5
max	64.6	32.1	39.2
<b>N</b>			
min	391	23	100
média	1390	970	1033
max	5000	2567	3125
<b>lqe</b>			
min	8.2	6.5	8.7
média	21.8	19.6	18.8
max	32.7	33.9	32.4

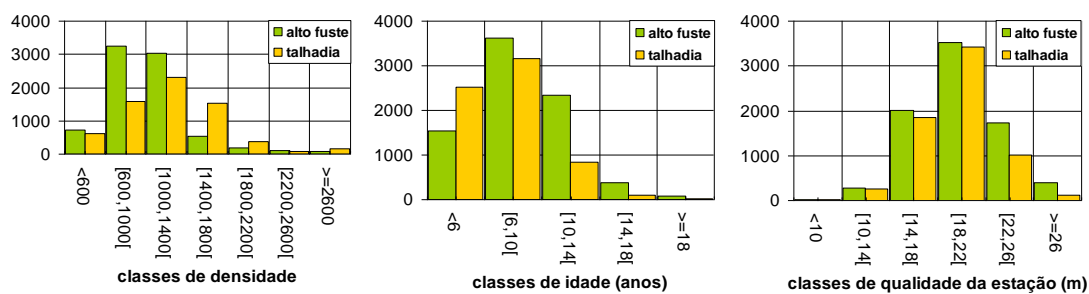
**Quadro 2.** Caracterização dos dados utilizados no ajustamento e validação de funções de predição – 2ª rotação (n=10081).

variável	empresa		
	CELBI	SILVICAIMA	PORTUCEL
<b>Nobs</b>	657	6006	3418
<b>Idade</b>			
Min	1.10	3.30	6.00
Média	7.91	7.08	9.16
Max	21.30	20.70	14.00
<b>hdom</b>			
Min	4.20	3.80	6.20
Média	17.35	16.19	16.48
Max	36.80	31.67	33.75
<b>G</b>			
Min	0.77	0.93	0.46
Média	15.43	10.21	10.73
Max	39.69		35.78
<b>N</b>			
Min	608	33.00	50
Média	1949.14	1151.70	1260.58
Max	8563		4600
<b>Iqe</b>			
Min	11.65	7.83	6.81
Média	20.48	19.21	17.21
Max	30.82	33.73	32.12

Na figura 2 apresenta-se a distribuição dos povoamentos seleccionados com uma dominância nítida, na talhadia, dos povoamentos localizados na região do Vale do Tejo (Silvicaima). Apresenta-se também a distribuição destes povoamentos por classes de densidade, idade e índice de qualidade da estação (figura 3).



**Figura 2.** Localização dos povoados seleccionados para ajustamento do modelo Globulus 3.0



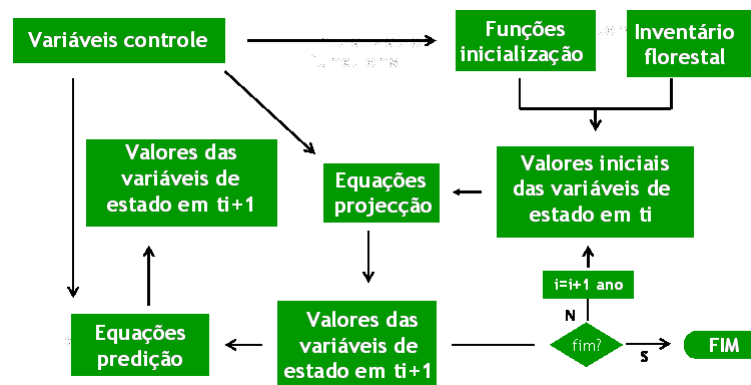
**Figura 3.** Distribuição dos povoados por classe de densidade, idade e índice de qualidade da estação.

## Estrutura do modelo Globulus 3.0

O modelo Globulus 3.0 é um modelo de povoamento que considera as seguintes variáveis de estado: altura dominante, área basal, volume total sem casca, volume da casca e volume mercantil para limites de despona entre 5 e 10 cm (com e sem casca), número de árvores por ha, número de varas por hectare após a monda e biomassa total e por componentes. O modelo estima também o total de carbono acumulado em cada componente. O índice de qualidade da estação, o número de árvores por ha à plantação ou o número de varas por ha após selecção de varas (em talhadia), a rotação (alto fuste *versus* talhadia) e os valores da variáveis climáticas são as variáveis de controlo. A rotação foi definida com base numa variável indicatriz da talhadia.

A estrutura do modelo está representada na figura 4. O modelo considera dois módulos, o módulo de inicialização e o módulo de projecção. O módulo de projecção é constituído por um conjunto de equações que actualizam o valor das variáveis de estado do instante t1 para o instante t2. No modelo Globulus 3.0, o módulo de projecção é constituído por funções de crescimento, formuladas como equações às diferenças, e por equações de predição. A maior parte das equações deste módulo, com excepção das equações para a predição do número de varas aos 3 anos (no momento imediatamente após monda), do número de varas antes da monda, do volume total com casca, do volume mercantil sem casca e das biomassas total e por componentes, são equações às diferenças, ou seja, equações que estimam o valor de uma variável de estado no instante t2 em função dos valores das variáveis de controlo e dos valores das variáveis de estado no instante t1. Por seu lado, uma equação de predição estima o valor das variáveis de estado num determinado instante t, função do valor das variáveis de controlo e do valor de outras variáveis de estado no mesmo instante t. Os volumes mercantis são estimados com base numa equação que estima a proporção do correspondente volume (sem casca) até ao limite de despona, enquanto que as biomassas das diferentes componentes são estimadas com base num sistema de equações alométricas. A projecção, até à idade de corte, de um povoamento que tenha sido objecto de um inventário florestal não necessita de nenhum outro módulo.

No caso de se pretender simular o crescimento de um povoamento no qual não tenha sido realizado nenhum inventário florestal, ou simular o crescimento de um povoamento após o corte (2ª rotação ou superiores) é necessário estimar as condições iniciais para a simulação, função do valor das variáveis de controlo. É esta a função do módulo de inicialização, o qual é constituído apenas por equações de predição.



**Figura 4.** Estrutura do modelo Globulus 3.0.

A compatibilidade entre os 2 módulos está assegurada: para os mesmos valores das variáveis de controlo, obtém-se os mesmas estimativas para as variáveis de estado na idade  $t_2$ , independentemente da idade inicial. Foi desenvolvida, no âmbito dos modelos Globulus 2.0 e Globulus 2.1, a metodologia para conseguir esta característica, a qual se considera essencial para garantir uma utilização do modelo na prática.

## **Componentes do modelo Globulus 3.0**

O modelo Globulus 3.0 inclui as seguintes componentes:

### Módulo de inicialização:

- (1) curvas de classe de qualidade
- (2) inicialização da densidade do povoamento
- (3) inicialização da área basal
- (4) inicialização do volume total sem casca
- (5) inicialização do volume da casca
- (6) inicialização do volume do cepo sem casca

### Módulo de projecção:

- (1) curvas de classe de qualidade
- (2) projecção da densidade do povoamento
- (3) projecção do nº de touças vivas
- (4) projecção da área basal
- (5) projecção do volume total sem casca
- (6) projecção do volume da casca
- (7) projecção do volume do cepo sem casca
- (8) predição do volume total com casca
- (9) predição do volume mercantil sem casca
- (10) predição das biomassa total e por componentes
- (11) estimativas de carbono

A maior parte destas componentes já estavam disponíveis no modelo Globulus 2.1.

As equações de predição do nº de varas aos 3 anos, no momento imediatamente a seguir à selecção de varas (talhadia), a equação de crescimento para a densidade de touças vivas e a equação de predição do número de varas antes da selecção de varas foram desenvolvidas pela primeira vez neste modelo com o objectivo de simular a transição entre rotações e o comportamento do povoamento antes da selecção de varas na fase de talhadia.

## Equações do modelo Globulus 3.0

### Curva classe de qualidade

#### Equação de crescimento em altura dominante (m)

$$h_{dom2} = (29.0669 + 0.2880 \times \text{diasprecipi.}) \times \left( \frac{h_{dom1}}{29.0669 + 0.2880 \times \text{diasprecipi.}} \right)^{\left( \frac{t1}{t2} \right)^{0.4890}}$$

#### Equação de crescimento em área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) - (é a área basal total, ou seja, inclui as árvores menores que 5 cm)

$$G2 = (80.1683 + 0.2354 \times \text{diasprecipi.}) \times \left( \frac{G1}{80.1683 + 0.2354 \times \text{diasprecipi.}} \right)^{\left( \frac{t1}{t2} \right)^{0.4493 + \left( \frac{-0.0441}{1 - (\text{cota}/2000)} \right) - 0.0164 \times \text{rot}}} \times \left( \frac{t1^{0.0655 \times N1/1000}}{t2^{0.0655 \times N2/1000}} \right)$$

onde t, idade (anos); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; cota, altitude (metros); N, densidade ( $ha^{-1}$ ).

#### Equação de inicialização em área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) - (é a área basal total, ou seja, inclui as árvores menores que 5 cm)

$$G = (80.1683 + 0.2354 \times \text{diasprecipi.}) \times e^{-kg \times \left( \frac{1}{t} \right)^{\left( 0.4493 + \left( \frac{-0.0441}{1 - (\text{cota}/2000)} \right) - 0.0164 \times \text{rot} + 0.0655 \times N/1000 \right)}}$$

$$kg = 8.8294 - 0.1876 \times IQE + 3.3759 \times \frac{100}{IQE \times \sqrt{Npl}} + 0.1180 \times \text{rot}$$

onde cota, altitude (m); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; N, densidade ( $ha^{-1}$ ); IQE, índice de qualidade da estação definido pela altura dominante dos povoamentos aos 10 anos; Npl, número de árvores à plantação (na 1ª rotação) ou o número de varas após monda (no caso das talhadias).

**Equação de crescimento para a densidade de árvores/varas ( $ha^{-1}$ ) - (é a densidade de árvores/varas total, ou seja, inclui as árvores menores que 5 cm)**

$$N = N_0 \times e^{-am(t-t_0)}, \text{ com } am = 0.0104 - 0.0025 \times rot + 0.0023 \times \left( \frac{Npl}{1000} \right)$$

onde Npl, número de árvores ( $ha^{-1}$ ) à plantação (na 1ª rotação) ou o número de varas após monda (nas talhadias); t, idade de projecção (anos);  $N_0$ , densidade no momento  $t_0$ , rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia.

**Equação de inicialização para a densidade de árvores/varas ( $ha^{-1}$ ) - (é a densidade de árvores/varas total, ou seja, inclui as árvores/varas menores que 5 cm)**

$$N = Npl \times e^{-am(t)}, \text{ com } am = 0.0104 - 0.0025 \times rot + 0.0023 \times \left( \frac{Npl}{1000} \right)$$

onde Npl, número de árvores à plantação (na 1ª rotação) ou o número de varas após monda (nas talhadias); t, idade (anos); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia.

**Equação de crescimento para a densidade de touças vivas ( $ha^{-1}$ )**

$$N_t = N_{t_0} \times e^{-am(t-t_0)}, \text{ com } am = 0.0147 - 0.0025 \times rot$$

onde  $N_{t_0}$ , número de touças vivas ( $ha^{-1}$ ) no momento  $t_0$ ; rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia.

**Equação de predição do número de varas aos 3 anos – momento após-monda – em função do número de touças vivas aos 3 anos ( $ha^{-1}$ )**

$$N_{t=3} = N_t \times \left( \frac{1}{1 - e^{-A}} \right), \text{ com } A = 0.4050 \times \frac{N_t}{1000} + 13.6400 \times \left( \frac{1}{IQE} \right)$$

onde Nt, número de touças vivas (ha<sup>-1</sup>); IQE, índice de qualidade da estação (m) definido pela altura dominante dos povoamentos aos 10 anos.

### **Equação de predição do número de varas antes da monda (antes dos 3 anos)**

$$N = Nt \times \frac{1}{1 - e^{-(0.090177 \times Nt / 1000 - 20.72244 \times 1 / \text{temp} + 0.048092 \times \text{dias\_geada} + 712.382043 \times 1 / \text{prec})}}$$

onde Nt, número de touças vivas (ha<sup>-1</sup>); temp, temperatura média anual (°C); prec, precipitação anual (mm); dias\_geada, número anual de dias de geada.

Aplica-se a equação de projecção do nº de touças para determinar o número de touças no momento do corte (Ntr). O utilizador define a percentagem de touças que morre na transição entre rotações (ex, 20%). Com base no número de touças no momento após corte (ex., ano 0.5) aplica-se a equação de projecção do número de touças para determinar o número de touças aos 3 anos (momento em que ocorre a selecção de varas). Conhecendo o número de touças aos 3 anos o utilizador decide quantas varas quer deixar por touça (ex., 1,5 varas/touça). Sabe-se assim o número de varas aos 3 anos para se poder aplicar a equação de inicialização da densidade. Caso o utilizador não tenha ideia sobre o número de varas aos 3 anos pode-se aplicar uma equação que dê o número de varas em função do número de touças aos 3 anos.

### **Equação de crescimento do volume total sem casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$V_{sc} = V_{sc0} \times \left( \frac{t}{t_0} \right)^a \times \left( \frac{h_{dom}}{h_{dom0}} \right)^b \times \left( \frac{G}{G_0} \right)^c$$

$$a = -0.0511 \quad b = 0.9982 \quad c = 1.0151$$

onde Vsc0, volume total sem casca no momento 0 (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); t, idade no momento actual (anos); t0, idade no momento 0 (anos); hdom, altura dominante no momento t (m); hdom0, altura dominante no momento 0 (m); G, área basal no momento t (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); G0, área basal no momento 0 (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

### **Equação de inicialização do volume total sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ ) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$V_{sc0} = k_v \times t_0^a \times h_{dom0}^b \times G_0^c,$$

$$k_v = 0.3504 + 0.0011 \text{rot} + \left( \frac{0.0049}{1 - \left( \frac{\text{cota}}{2000} \right)} \right) + 0.0908 \frac{100}{IQE \sqrt{Npl}} \quad a = -0.0510 \quad b = 0.9982 \quad c = 1.0151$$

onde  $t_0$ , idade no momento 0 (anos);  $h_{dom0}$ , altura dominante no momento 0 (m);  $G_0$ , área basal no momento 0 ( $m^2 ha^{-1}$ ); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; cota, altitude (m); IQE, índice de qualidade da estação, definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; Npl, número de árvores à plantação em 1ª rotação ou número de varas após monda em talhadias ( $ha^{-1}$ ).

### **Equação de crescimento do volume total da casca ( $m^3 ha^{-1}$ )**

$$V_{casca} = V_{casca_0} \times \left( \frac{t}{t_0} \right)^a \times \left( \frac{h_{dom}}{h_{dom_0}} \right)^b \times \left( \frac{G}{G_0} \right)^c$$

$$a = -0.0548 \quad b = 0.7142 \quad c = 1.0513$$

onde  $V_{casca_0}$ , volume total da casca no momento 0 ( $m^3 ha^{-1}$ );  $t$ , idade no momento actual (anos);  $t_0$ , idade no momento 0 (anos);  $h_{dom}$ , altura dominante no momento  $t$  (m);  $h_{dom_0}$ , altura dominante no momento 0 (m);  $G$ , área basal no momento  $t$  ( $m^2 ha^{-1}$ );  $G_0$ , área basal no momento 0 ( $m^2 ha^{-1}$ ).

### **Equação de inicialização do volume total da casca ( $m^3 ha^{-1}$ )**

$$V_{casca_0} = k_v \times t_0^a \times h_{dom0}^b \times G_0^c$$

$$k_v = 0.1502 + \left( \frac{0.0014}{1 - \left( \frac{\text{cota}}{2000} \right)} \right) + 0.1336 \frac{100}{IQE \sqrt{Npl}} \quad a = -0.0548 \quad b = 0.7142 \quad c = 1.0513$$

onde  $t_0$ , idade no momento 0 (anos);  $h_{dom0}$ , altura dominante no momento 0 (m);  $G_0$ , área basal no momento 0 ( $m^2 ha^{-1}$ ); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; cota, altitude (m); IQE, índice de qualidade da

estação, definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; Npl, número de árvores à plantação em 1ª rotação ou número de varas após monda em talhadas ( $\text{ha}^{-1}$ ).

### **Equação de crescimento do volume do cepo sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )**

$$V_{\text{cepo}} = V_{\text{cepo}0} \times \left(\frac{t}{t_0}\right)^a \times \left(\frac{h_{\text{dom}}}{h_{\text{dom}0}}\right)^b \times \left(\frac{G}{G_0}\right)^c$$

$$a = -0.0821, \quad b = 0.3440 \quad c = 0.9914$$

onde  $V_{\text{cepo}0}$ , volume total do cepo no momento 0 ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ); t, idade no momento actual (anos);  $t_0$ , idade no momento 0 (anos);  $h_{\text{dom}}$ , altura dominante no momento t (m);  $h_{\text{dom}0}$ , altura dominante no momento 0 (m); G, área basal no momento t ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ );  $G_0$ , área basal no momento 0 ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ).

### **Equação de inicialização do volume do cepo sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )**

$$V_{\text{cepo}0} = k_v \times t_0^a \times h_{\text{dom}0}^b \times G_0^c$$

$$k_v = 0.0567 - 0.0002 \text{rot} + 0.0104 \frac{100}{\text{IQE} \sqrt{\text{Npl}}} \quad a = -0.0821 \quad b = 0.3440 \quad c = 0.9914$$

onde  $t_0$ , idade no momento 0 (anos);  $h_{\text{dom}0}$ , altura dominante no momento 0 (m);  $G_0$ , área basal no momento 0 ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ ); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; IQE, índice de qualidade da estação, definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; Npl, número de árvores à plantação em 1ª rotação ou número de varas após monda em talhadas ( $\text{ha}^{-1}$ ).

### **Equação de predição do volume total com casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$V = V_{\text{sc}} + V_{\text{casca}}$$

onde  $V_{\text{sc}}$ , volume total sem casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ );  $V_{\text{casca}}$ , volume total da casca ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )

### Equação do volume mercantil sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ )

$$V_{merc\_sc} = (V_{sc} - V_{cepo}) \times e^{a \left( \frac{dd}{dg} \right)^b}$$

$$a = -1.1075 - 0.3436 \times rot + 0.0741 \left( \frac{Npl}{1000} \right) + 1.2604 \times \frac{100}{IQE \sqrt{Npl}} + \left( \frac{0.2660}{1 - \left( \frac{cota}{2000} \right)} \right) \quad b = 3.1854 + 0.5513 \times rot$$

onde  $V_{sc}$ , volume total sem casca e com cepo ( $m^3 ha^{-1}$ );  $V_{cepo}$ , volume total do cepo sem casca ( $m^3 ha^{-1}$ );  $dd$ , diâmetro de despona com casca (cm);  $dg$ , diâmetro quadrático médio (cm);  $rot$ , variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia;  $Npl$ , número de árvores à plantação em 1ª rotação ou número de varas após monda em talhadias ( $ha^{-1}$ );  $IQE$ , índice de qualidade da estação definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos.

### Equação de predição da biomassa de lenho ( $Mg ha^{-1}$ ) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm

$$W_w = a_w G^{b_w} h_{dom}^{c_w}$$

$$a_w = 0.0967 \quad b_w = 1.0547 - 0.0018 \times rot - 0.0065 \times \left( \frac{N}{1000} \right) - 0.5198 \times \left( \frac{IQE}{1000} \right) - 1.2105 \times \left( \frac{t}{1000} \right) \quad c_w = 1.1886$$

onde  $G$ , área basal ( $m^2 ha^{-1}$ );  $h_{dom}$ , altura dominante (m);  $rot$ , variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia;  $N$ , densidade ( $ha^{-1}$ );  $IQE$ , índice de qualidade da estação definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos;  $t$ , idade (anos).

### **Equação de predição da biomassa de casca (Mg ha<sup>-1</sup>) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$W_b = a_b G^{b_b} h_{dom}^{c_b}$$

$$a_b = 0.03636 \quad b_b = 1.1691 - 0.0083 \times \text{rot} - 0.0459 \times \left(\frac{N}{1000}\right) + 3.2289 \times \left(\frac{IQE}{1000}\right) + 2.0880 \times \left(\frac{t}{1000}\right) \quad c_b = 0.6710$$

onde G, área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); h<sub>dom</sub>, altura dominante (m); rot, variável indicatriz da rotação que assume o valor 0 para povoamentos em alto fuste e o valor 1 para povoamentos em talhadia; N, densidade (ha<sup>-1</sup>); IQE, índice de qualidade da estação definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; t, idade (anos).

### **Equação de predição da biomassa de folhas (Mg ha<sup>-1</sup>) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$W_l = a_l G^{b_l} h_{dom}^{c_l}$$

$$a_l = 1.0440 \quad b_l = 1.0971 - 0.0112 \times \left(\frac{N}{1000}\right) - 1.2207 \times \left(\frac{IQE}{1000}\right) - 6.2807 \times \left(\frac{t}{1000}\right) \quad c_l = -0.3129$$

onde G, área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); h<sub>dom</sub>, altura dominante (m); N, densidade (ha<sup>-1</sup>); IQE, índice de qualidade da estação definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; t, idade (anos).

### **Equação de predição da biomassa de ramos (Mg ha<sup>-1</sup>) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm**

$$W_{br} = a_{br} G^{b_{br}} h_{dom}^{c_{br}}$$

$$a_{br} = 0.3972 \quad b_{br} = 1.0005 - 0.0192 \times \left(\frac{N}{1000}\right) + 3.3170 \times \left(\frac{IQE}{1000}\right) - 1.2747 \times \left(\frac{t}{1000}\right) \quad c_{br} = -0.0160$$

onde G, área basal (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>); h<sub>dom</sub>, altura dominante (m); N, densidade (ha<sup>-1</sup>); IQE, índice de qualidade da estação definido pelo valor da altura dominante aos 10 anos; t, idade (anos).

### Equação de predição da biomassa total acima do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm

$$W_{as} = W_w + W_b + W_l + W_{br}$$

onde  $W_w$ , biomassa de lenho ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );  $W_b$ , biomassa de casca ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );  $W_l$ , biomassa de folhas ( $\text{Mg ha}^{-1}$ );  $W_{br}$ , biomassa de ramos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

### Equação de predição da biomassa total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) (incluindo raízes) - inclui as árvores/varas menores que 5 cm

$$W_{total} = W_{as} + 0.2487 W_{as}$$

onde  $W_{as}$ , biomassa acima do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )

### Factores de conversão de biomassa em carbonos

Folhas	composição química	C-Folhas: 0.492
Ramos		C-Ramos: 0.474
Lenho		C-Lenho: 0.490
Casca		C-Casca: 0.468
Raízes		C-Raízes: 0.490

## **Referências bibliográficas**

- Daveau, S., Carvalho, L., Coelho, C., Costa, V., 1977. Répartition et rythme des précipitations au Portugal. Centro de Estudos Geográficos, Lisboa.
- Tomé, M., Ribeiro, F. e Soares, P., 2001. O modelo GLOBULUS 2.1. Relatórios Técnico – Científicos do GIMREF, nº1/2001, Dep. Engenharia Florestal, ISA, Lisboa.