© UEISSAFSV, INIAV, Oeiras, Portugal

Quantificação da Biomassa em Pinhal Bravo recorrendo a Fatores de Conversão e Expansão *(BCEFS)*

***Teresa Enes e **Teresa Fonseca**

Resumo. A estimação da biomassa arbórea em ecossistemas florestais tem um enorme interesse, para a quantificação da biomassa para fins energéticos, para avaliação da fixação de carbono e no estudo do ciclo de nutrientes. A avaliação ao nível do povoamento pode ser feita de forma expedita recorrendo a Fatores de Conversão e de Expansão de Biomassa (*BCEFs*) que permitem estimar a biomassa da componente aérea, ou a biomassa total, em função de informação global de volume do tronco (m^3ha^{-1}).
Este trabalho tem como principal objetivo o estudo dos fatores de conversão de volume do tronco em biomassa e expansão da mesma, para outras componentes da árvore, em ecossistemas de *Pinus pinaster* Ait.. A metodologia ensaiada tem como suporte inventários periódicos realizados em parcelas permanentes instaladas na região Norte de Portugal. Os resultados obtidos evidenciam uma relação alométrica dos *BCEFs* com a altura dominante dos povoamentos. Os modelos desenvolvidos permitem obter estimativas da biomassa arbórea dos povoamentos, para as componentes do tronco, aérea e total, baseadas na informação do volume e da altura dominante dos povoamentos. Estas estimativas podem ser utilizadas para avaliação expedita dos recursos quanto às existências em matéria seca de madeira para produção de pasta, bioenergia ou como suporte à avaliação da produtividade primária líquida.
Palavras-chave: volume, bioenergia, carbono, *Pinus pinaster*

* Eng. Florestal, CIFAP - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL, PORTUGAL;
E-mail: tenes@portugalmail.com
** Professora Auxiliar, CIFAP - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL, PORTUGAL;
E-mail: tfonseca@utad.pt

Pinus pinaster's stands biomass quantification using the Conversion and Biomass Expansion Factors (_BCEFs_)

Abstract. The estimation of tree biomass in forest ecosystems has a huge interest for the quantification of biomass for energy purposes, to evaluate carbon sequestration and for nutrient cycling studies. The evaluation of biomass at stand level can be easily achieved using the Conversion and Biomass Expansion Factors (BCEFs). These factors allow estimating the biomass of a particular component of the tree or the total biomass based on stand volume information. The main objective of this paper is the study of the conversion and biomass expansion factors in ecosystems of *Pinus pinaster* Ait. The study is supported by data collected in permanent plots established in the North of Portugal. The results show an allometric relationship between the factors and the dominant height of the stands. The developed models allow estimating the stands' biomass, for the components of the stem, crown, roots, and for its total, based on information of stand volume and dominant height. These estimates can be used to assess the forest dry wood stocks to be used for pulp, bioenergy or other purposes, as well as the biomass quantification to support the evaluation of the net primary productivity.
Key words: volume, wood energy, carbon, *Pinus pinaster*

Quantification de la biomasse en peuplements de _Pinus pinaster_ ayant recours aux Facteurs de Conversion et Expansion (_BCEFs_)

Résumé. L'estimation de la biomasse des arbres des écosystèmes forestiers a un énorme intérêt pour la quantification de la biomasse à des fins énergétiques, pour l'évaluation de la fixation du carbone et dans l'étude du cycle des éléments nutritifs. L'évaluation au niveau du peuplement peut être effectuée de forme simplifiée ayant recours aux Facteurs de Conversion et Expansion de la Biomasse (*BCEFs*) que permettent d'estimer la biomasse d'une certaine composante de l'arbre, ou la biomasse totale en fonction de données du volume du tronc.

Ce travail a comme objectif principal l'étude des facteurs de conversion du volume du tronc en biomasse et son expansion par d'autres composants de l'arbre en écosystèmes de *Pinus pinaster* Ait. La méthodologie utilisée tient pour base les inventaires réalisés périodiquement en parcelles permanentes installées au Nord du Portugal.

Les résultats montrent une tendance de variation allométrique des *BCEFs* avec la hauteur dominante des peuplements.

Les modèles développés permettent d'obtenir des estimatives de biomasse des peuplements pour les composantes du tronc, aérienne et totale, tenant en compte l'information connue du volume et de l'hauteur dominante.

Ces estimatives peuvent êtres utilisées simplement pour évaluer la quantité de biomasse disponible pour la production de pâte à papier, la bioénergie ou comme support au calcul de la productivité primaire liquide.
Mots clés: volume, bioénergie, carbone, *Pinus pinaster*

Introdução

Os estudos de biomassa florestal são feitos com propósitos variados, entre os quais se destaca a quantificação da biomassa para avaliação da produção primária líquida e armazenamento de carbono, avaliação de resíduos florestais para fins energéticos e quantificação da reciclagem de nutrientes. Em qualquer dos casos referidos, estes estudos são de grande importância para a tomada de decisões de gestão dos recursos florestais (PÁSCOA *et al*., 2004). A utilização de biomassa florestal para bioenergia é cada vez mais reconhecida ao nível dos países da Europa, fazendo parte de uma estratégia integrada, que visa a mitigação das alterações climáticas, o aumento da segurança das energias renováveis e a prevenção dos fogos florestais (VIANA *et al.* 2012). A United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) e, em particular, o Protocolo de Quioto, reconhecem igualmente a grande importância da biomassa e do carbono florestal e a necessidade de monitorizar, conservar e aumentar o seu armazenamento, na medida em que este influencia a concentração de CO_2 atmosférico.

A biomassa florestal pode ser avaliada através de dois métodos: o método destrutivo, que engloba a quantificação de pesos e / ou volumes de árvores individuais, a partir do corte de material lenhoso; e o método não destrutivo, através do qual se procede à estimação do volume ou da biomassa através de modelos matemáticos, normalmente através da utilização de equações alométricas. Na maior parte das situações, o primeiro método é reservado à obtenção de dados que permitam o desenvolvimento dos modelos.

O modelo alométrico apresenta a expressão geral $Y = a\ X^b$, onde Y representa o volume ou a biomassa (do tronco, por exemplo), X representa o diâmetro a 1,30 m e a e b são constantes. A relação assume que o crescimento em biomassa é proporcional ao crescimento em diâmetro. Quando a estimação é feita em volume, o valor obtido pode ser convertido em biomassa utilizando um valor médio da densidade do lenho.

Um método expedito que tem sido proposto para obtenção indireta de valores de biomassa dos povoamentos assenta nos designados *BCEFs* (Fatores de Conversão e Expansão de Biomassa). Genericamente, os *BCEFs* são fatores que permitem converter valores de volume do tronco, em biomassa, seguida da expansão do quantitativo em biomassa para outra(s) componente(s) das árvores. Os fatores são calculados através do quociente entre a biomassa da componente em consideração (copa, aérea e total) e o volume do tronco da(s) árvore(s). Este método, inicialmente divulgado por JOHNSON e SHARPE (1983), tem sido usado por diversos autores (por exemplo, BROWN, 2002; LEHTONEN *et al*., 2004;

SOMOGYI *et al*., 2006; FAIAS, 2009; SANQUETTA, 2011 e CASTEDO-DORADO *et al*., 2012), para diferentes ecossistemas florestais.

A utilização destes fatores é extremamente útil dado que na maior parte dos inventários florestais a informação relativa ao volume dos povoamentos (ie, ao valor acumulado dos volumes dos fustes) encontra-se, de um modo geral, facilmente acessível, o mesmo não se podendo dizer quanto à biomassa do tronco e da copa, ou mesmo dos valores individuais de variáveis como o diâmetro e a altura das árvores. A facilidade de aplicação para recuperação de informação expressa em biomassa torna estes fatores muito interessantes para monitorização de alterações em biomassa e em carbono. O uso dos *BCEFs* está previsto e é aconselhado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006 – Vol. 4, Cap. 2, p. 2.12 e seguintes) nos casos em que a informação sobre a quantidade de biomassa não está disponível e é necessário obter estimativas com base em dados de volume.

O presente trabalho tem como objetivo a análise dos fatores de conversão e expansão para povoamentos de pinheiro bravo (*Pinus pinaster* Ait.). O pinheiro bravo é a espécie resinosa com maior representatividade em Portugal, ocupando 27% da área florestal (885.000 ha) do território continental e responsável por um volume de 64,1 milhões de m^3. A gestão dos povoamentos desta espécie tem como objetivo principal a produção de madeira maciça, tendo em consideração todas as boas práticas culturais que lhe estão subjacentes. O modelo de condução mais comum considera rotações de 40 a 50 anos com realização de 2-3 desbastes com espaçamentos de 5 a 10 anos ou de acréscimos em altura dominante da ordem dos 2 metros (OLIVEIRA *et. al.,* 2003). Esta prática visa redistribuir o potencial produtivo da estação pelos indivíduos escolhidos para manter no povoamento e, simultaneamente, facultar rendimentos intermédios antes do termo de explorabilidade. Este tipo de material de menores dimensões retirado em desbaste tem cada vez mais interesse para aproveitamento de biomassa para energia, o que poderá levar a modificações quanto aos modelos de silvicultura adotados para a espécie, com promoção de rotações mais curtas.

As existências desta espécie têm sido, historicamente, quantificadas em volume e restringidas à componente do fuste limpo, por ser a componente comercialmente com maior valor. O interesse crescente pelas avaliações em biomassa, não só do tronco, mas também da copa (ramos e agulhas) e mesmo das raízes, torna interessante o estudo de fatores de conversão e expansão para esta resinosa para permitir avaliar, de forma expedita, a produção lenhosa, expressa em biomassa.

Pretende-se, especificamente, estudar a variação dos *BCEFs* em séries temporais e entre povoamentos com caraterísticas dendrométricas distintas. As componentes consideradas são (1) a copa, (2) a parte aérea (tronco e copa) e (3) a parte aérea e subterrânea (tronco, copa e raízes).

Para exemplificação, concretiza-se a aplicação dos fatores, generalizando uma tabela de produção estabelecida para a espécie para facultar estimativas de biomassa para as componentes supracitadas.

Material e métodos

Este estudo teve como suporte a base de dados de parcelas permanentes Data Pinaster, criada em 1997 e atualizada periodicamente ao abrigo de projetos de investigação e experimentação conduzidos no Departamento de Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Foram utilizados dados de 41 parcelas, localizadas no Vale do Tâmega, apresentando três séries de medições em 23 delas, e duas séries de medições nas restantes 18, num total de 105 observações. Estes dados abrangem povoamentos de pinheiro bravo, em diferentes fases fisionómicas de desenvolvimento e densidades, como se mostra no Quadro1.

Quadro 1 *- Caraterização dos povoamentos quanto às fases fisionómicas de desenvolvimento e densidades observadas.*

Fases de desenvolvimento	**n**	**N (árv.ha^{-1})**		**G (m^{2}ha^{-1})**	
	(%)	**Valor médio**	**Desvio padrão**	**Valor médio**	**Desvio padrão**
Alto Fuste	59	517,7	195,7	37,0	8,4
Fustadio	23	596,7	205,7	31,9	6,0
Bastio	17	958,9	537,6	25,6	7,2
Novedio	1	1560	-	11,4	-

Nota: n- representa o nº obs; N – número de árvores por ha; G – área basal do povoamento.

A classificação das fases de desenvolvimento tem por base os valores das caraterísticas diâmetro e altura das árvores dominantes, conforme indicado por OLIVEIRA *et al*. (2000).

A variação do número de árvores e da área basal, acompanha o padrão esperado ao longo do desenvolvimento dos povoamentos.

A partir dos dados colhidos no campo, foram calculadas diferentes variáveis dendrométricas, cujas estatísticas sumárias são apresentadas no Quadro 2. Calcularam-se ainda, no mesmo número de séries, os *BCEFs* para a componente aérea da árvore e também para a soma das componentes aérea e subterrânea (raízes) da árvore.

Para o cálculo da biomassa (de cada componente e total) utilizaram-se as equações alométricas propostas por LOPES (2005). Para o cálculo dos *BCEFs* (t m^{-3}) adotou-se a seguinte expressão:

$$BCEF_i = \frac{B_i}{V}$$

onde *V* representa o volume do povoamento (m^3ha^{-1}) e *B* a biomassa (peso seco, t ha^{-1}), da componente *i,* neste caso, da copa, da componente aérea (tronco e copa) e total (tronco, copa e raízes). O volume refere-se à componente do tronco, com casca, e assume o cepo com uma altura de 10 cm, tendo sido calculado através do modelo apresentado por FONTE (2000).

Resultados e discussão

Caraterização estatística dos parâmetros do povoamento

Na sequência do tratamento de dados apresenta-se no Quadro 2 a descrição estatística sumária das variáveis dendrométricas (*n*=105 observações).

Quadro 2 *- Descrição estatística sumária das variáveis avaliadas na base de dados Data Pinaster.*

Variável	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
t (anos)	15,0	69,0	46,9	10,3	22,0
N (arv ha^{-1})	200	1960	621	337	54,2
G (m^2 ha^{-1})	11,4	55,5	33,7	9,0	26,7

***Quadro 2** - Continuação*

Variável	Valor mínimo	Valor máximo	Valor médio	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
dg (cm)	9,7	43,6	28,1	6,6	23,6
hd (m)	7,1	27,2	18,3	3,9	21,2
SI (m)	11,5	22,1	16,0	1,9	11,6
V (m^3 ha^{-1})	41,1	634,5	291,9	111,1	38,1
Bc (t ha^{-1})	8,8	50,7	29,8	8,4	28,3
Bt (t ha^{-1})	17,5	214,6	107,7	39,7	36,8
Ba (t ha^{-1})	26,3	262,0	137,5	47,8	34,8
Br (t ha^{-1})	6,3	16,6	10,8	2,4	22,2
Btotal (t ha^{-1})	34,5	275,2	148,3	49,1	33,1
BCEF copa	0,07	0,11	0,22	0,02	9,1
BCEF aérea	0,37	0,64	0,48	0,06	12,4
BCEF total	0,39	0,84	0,53	0,08	14,8

Nota: *t* - representa a idade; *N* – número de árvores por ha; *G* – área basal do povoamento; *dg* – diâmetro médio quadrático; *hd* - a altura dominante; *SI* – Índice de Qualidade da Estação; *V* - designa a produção em volume; *Bc* – a biomassa da copa; *Bt* – quantidade de biomassa do tronco; *Ba* – a biomassa da componente aérea; *Br* – a biomassa das raízes; *Btotal* – a biomassa total (aérea e subterrânea); *BCEF copa* – Fator de Conversão e Expansão de Biomassa para a copa; *BCEF aérea* – Fator de Conversão e Expansão de Biomassa para a componente aérea (tronco e copa); *BCEF total* - Fator de Conversão e Expansão de Biomassa total (componentes aérea e subterrânea).

Tal como é visível no Quadro 2, a base de dados abrange povoamentos com uma grande amplitude de idades (*t*), de densidade, e de produção em volume (*V*) e em biomassa (*B*). A variação do índice de qualidade de estação (*SI*, definido como a altura dominante à idade de referência de 35 anos; MARQUES, 1987) mostra que foram abrangidos povoamentos em estações de qualidade inferior, média e superior, com predominância da classe de qualidade média (14 <SI≤18m).

Perante os resultados obtidos para os fatores de conversão e expansão, confirma-se que não é adequado usar-se um valor médio de *BCEF* para o pinheiro bravo, atendendo aos valores de dispersão determinados para qualquer das componentes em análise (Coeficientes de Variação entre 9 a 15%).

Para aprofundar o estudo obteve-se a matriz de correlação (*r*) entre os principais parâmetros dendrométricos dos povoamentos e os *BCEFs*. No Quadro 3 sumariam-se os resultados obtidos por ordem decrescente de significância (para esta amostra, $r \geq 0.304$ a 5%).

Quadro 3 *- Correlação entre os BCEFs e as variáveis dendrométricas.*

***BCEF co*pa**	***r***	***BCEF* aérea**	***r***	***BCEF* total**	***r***
hd (m)	-0,9479	*hd (m)*	-0,786	*hd (m)*	-0,8882
t (anos)	-0,8085	*SI (m)*	-0,6413	*t (anos)*	-0,6623
$d_{0,50}$ *(cm)*	-0,7707	*V* (m^3ha^{-1})	-0,5523	*V* (m^3ha^{-1})	-0,6609
dg (cm)	-0,7635	*t (anos)*	-0,4873	*SI (m)*	-0,5753
dm (cm)	-0,7634	*G* (m^2ha^{-1})	-0,3294	$d_{0,50}$ *(cm)*	-0,5213
V (m^3ha^{-1})	-0,7581	$d_{0,50}$ *(cm)*	-0,3002	*dm (cm)*	-0,5072

Nota: $d_{0,50}$ - representa o percentil 50 da distribuição dos diâmetros e *dm* – representa o diâmetro médio aritmético.

Verifica-se que a altura dominante é a variável que melhor se correlaciona com os *BCEFs* das diferentes componentes, sendo essa associação de sentido inverso, ou seja, o *BCEF* é tanto menor quanto maior for a altura dominante. Uma tendência, no mesmo sentido, é verificada com a variável idade, sendo esta a segunda mais importante para as componentes da copa e total. Este padrão é atribuído à existência de alometrias distintas ao longo do estádio de desenvolvimento dos povoamentos, com uma maior alocação relativa da biomassa para a componente tronco, à medida que se avança para a maturidade. Resultados apresentados por PORTÉ *et. al.* (2002) para povoamentos de pinheiro bravo de diferentes idades, acerca da distribuição da biomassa total por componentes, confirmam esta tendência. Segundo PORTÉ *et. al.* (2002), a percentagem de biomassa dos ramos relativamente à biomassa total diminui expressivamente com a idade. No estudo realizado, os autores referem valores de 49,3 % aos 5 anos, comparativamente a valores de 13,2 e 11,4 %, respetivamente, para povoamentos de 26 e 32 anos.

Uma vez que a altura dominante é uma variável que conjuga em simultâneo a idade e a qualidade da estação, é natural que o indicador altura dominante tenha uma relação ainda mais acentuada com os *BCEFs* do que a idade. Refira-se que FAIAS

(2009), também tinha assinalado uma relação significativa entre os fatores de conversão e expansão de biomassa e a altura dominante, para povoamentos de pinheiro bravo e de eucalipto.

Dado não ser suficientemente preciso usar um valor médio de *BCEF* por componente, propõe-se a modelação da relação dos fatores em função da altura dominante dos povoamentos, dado ser esta variável a que apresenta um grau de associação mais forte com estes fatores ($r > -0{,}7$, Quadro 3).

Criação de modelos para estimação dos BCEFs

A análise gráfica entre os *BCEFs* e a variável *hd*, evidenciou uma relação curvilínea entre as variáveis, daí ter-se optado por utilizar o modelo alométrico para traduzir esta relação. A estimação dos modelos não lineares considerando como variável dependente o *BCEF* e como regressor a altura dominante foi feita por aplicação do método de Gauss-Newton, recorrendo ao programa *JMP*. O ajustamento das curvas encontra-se representado graficamente na Figura 1.

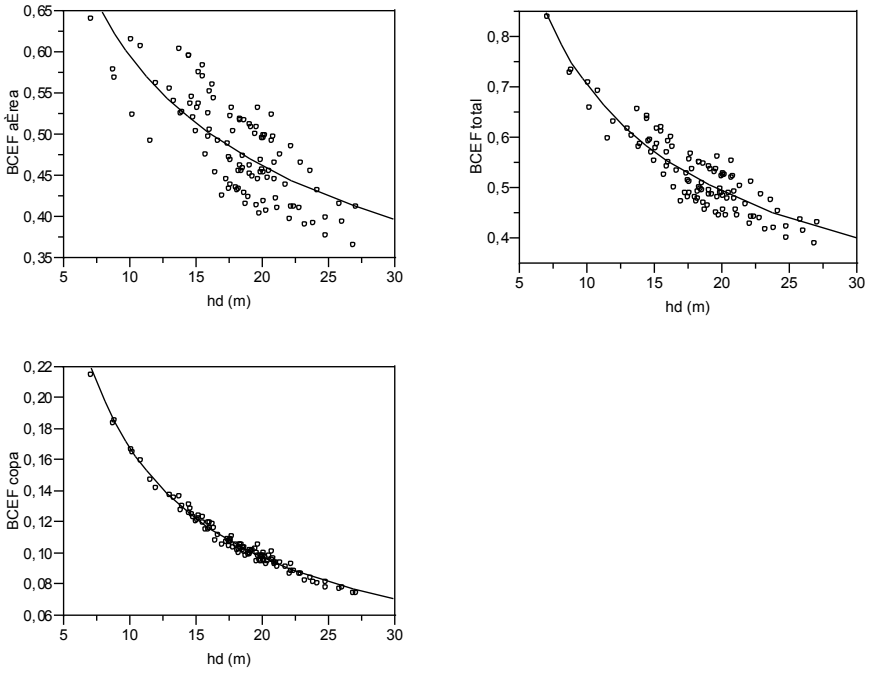


Figura 1 *- Dispersão dos valores de BCEF para as componentes copa, aérea e total, em função da altura dominante.*

Pela análise visual dos diagramas, pode-se verificar que os modelos desenvolvidos conformam-se bem com a dispersão das observações.
O resultado dos ensaios está sumariado no Quadro 4.

Quadro 4 *- Resultados da estimação do modelo alométrico para os BCEFs.*

Modelos	$\mathbf{S_{yx}}$ (t m^{-3})
$BCEF_{copa} = 1{,}031744 \times hd^{-0{,}786765}$	0,0026
$BCEF_{aérea} = 1{,}390192 \times hd^{-0{,}367604}$	0,0391
$BCEF_{total} = 2{,}316878 \times hd^{-0{,}516025}$	0,0329

Nota: *Syx* - representa o valor do desvio padrão dos resíduos do modelo estimado.

De acordo com o teste de *t*, todos os coeficientes são assintoticamente significativos, para um nível de probabilidade de 0,05 ou inferior.

A análise gráfica do padrão dos resíduos relativamente aos valores estimados pelos modelos, não revelou qualquer padrão que traduzisse uma situação de violação relativa aos pressupostos assumidos aquando da estimação do modelo, nomeadamente vestígios de heterocedasticidade ou uma especificação incorreta da forma funcional do modelo.

Para consubstanciar este estudo apresenta-se no Quadro 5 uma adaptação da tabela de produção para o pinhal bravo do Vale do Tâmega (MOREIRA e FONSECA, 2002), generalizada à avaliação de biomassa com base nos modelos supracitados. O exemplo respeita a uma Qualidade de estação média (*SI* = 16 m, MARQUES, 1987).

Quadro 5 *- Tabela de produção para o pinhal bravo do Vale do Tâmega (MOREIRA e FONSECA, 2002) generalizada à quantificação de biomassa.*

t (anos)	**hd** (m)	**VT** ($m^3\ ha^{-1}$)	**Bc** ($t\ ha^{-1}$)	**Ba** ($t\ ha^{-1}$)	**Bt** ($t\ ha^{-1}$)
15	7,8	47,9	9,8	31,2	38,3
20	10,3	109,8	18,0	64,7	76,2
25	12,5	182,2	25,8	100,2	114,8
30	14,4	255,7	32,4	133,5	149,8
35	16,0	318,7	37,1	159,9	176,6
40	17,5	371,2	40,3	180,3	196,5
45	18,8	414,7	42,5	196,1	211,4
50	20,0	450,3	44,0	208,1	222,3
55	21,1	478,9	44,9	217,0	230,0

Nota: *t* - representa a idade; *hd* - a altura dominante; *VT* - designa a produção total em volume; *Bc* – a biomassa da copa; *Ba* – a biomassa da componente aérea; *Bt* – a biomassa total (aérea e subterrânea). Para mais detalhes consultar o texto.

No que respeita aos valores expressos em biomassa, a simplicidade da previsão da produção lenhosa torna-se ainda maior, esperando-se que os modelos de estimação dos *BCEFs* apresentados neste trabalho sirvam de apoio à gestão dos povoamentos de pinheiro bravo. A possibilidade de generalização a estimativas de biomassa de outras componentes que não apenas o tronco, permite a obtenção de avaliações expeditas ao nível de resíduos florestais e de ganhos e perdas em carbono, da componente arbórea dos ecossistemas florestais.

Conclusões

O estudo permitiu confirmar que para o pinheiro bravo não é adequado usar-se valores médios de *BCEF* para obter estimativas de biomassa a partir de informação do volume, independentemente das componentes em apreciação (aérea ou total). Os valores de *BCEF* variam ao longo do tempo e com a

qualidade da estação. Povoamentos com maior idade e/ ou localizados em estações de melhor qualidade tendem a apresentar valores mais baixos dos fatores. A variável altura dominante ao traduzir em simultâneo o efeito da idade e da estação revelou ser a variável mais interessante para modelar a variação dos *BCEFs*.

Os modelos desenvolvidos viabilizam a estimação indireta da biomassa florestal (t ha^{-1}) a partir de registos da produção em volume (m^3 ha^{-1}) e do conhecimento da variável *hd*, sendo facilmente conjugáveis com modelos de crescimento e/ou produção, como se demonstrou com o modelo de povoamento de MOREIRA e FONSECA (2002).

Agradecimentos

As autoras agradecem ao Prof. Carlos Pacheco Marques o empenho em obter financiamento para suporte à instalação e monitorização de parcelas permanentes no pinhal bravo do Vale do Tâmega (Projecto PAMAF 4004 e Projeto Agro 372) e consequentemente à constituição da base de dados DataPinaster utilizada neste estudo.

Referências bibliográficas

BROWN, S., 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* **116**: 363–372.

CASTEDO-DORADO, F., GÓMEZ-GACÍA, E., DIÉGUEZ-ARANDA, U., BARRIO-ANTA, M., CRESCENTE-CAMPO, F., 2012. Aboveground stand-level biomass estimation: a comparison of two methods for major forest species in northwest Spain. *Annals of Forest Science* **69**: 735-746.

FAIAS, S. M.M P., 2009. *Analysis of Biomass Expansion Factors for the most important tree species in Portugal*. Dissertação de Mestrado, ISA, Lisboa, 48 pp.

FONTE, C.M.M., 2000. *Estimação do Volume Total e Mercantil em Pinus pinaster Ait. no Vale do Tâmega*. Relatório Final de Estágio, UTAD, Vila Real, 67 pp.

IPPC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Agriculture, Forestry and Other Land Use, Volume 4. Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories, Chapter 2, 59 pp.

LEHTONEN, A., MÄKIPÄÄ, R., MUUKKONEN, P., 2004. Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *For. Ecol. and Manage*. **88**: 211–224.

LOPES, D.M.L., 2005. *Estimating Net Primary Production in Eucalyptus globulus and Pinus pinaster Ecossystems in Portugal*. PhD Thesis, Kingston University, Kingston, 282 pp.

JOHNSON, W.C., SHARPE, D.M., 1983. The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research,* **13**(3): 372-383.

MARQUES, C.P., 1987. *Qualidade das estações florestais. Povoamentos de pinheiro bravo no Vale do Tâmega*. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real, 157 pp.

MOREIRA, A.M., T. F. FONSECA, 2002. Tabela de Produção para o pinhal do Vale do Tâmega. *Silva Lusitana* **10** (1): 63 – 71.

OLIVEIRA, A.C., CORREIA, A.V., 2003. Principais espécies florestais com interesse para Portugal, Zonas de influência atlântica. Direcção-Geral das Florestas. Estudos e Informação nº322, 187 pp

OLIVEIRA, A.C., PEREIRA, J. S., CORREIA, A.V., 2000. A silvicultura do pinheiro bravo. *Centro Pinus*, Porto, 113 pp

PÁSCOA, F., MARTINS, F., SALAS, R., JOÃO, C., 2004. Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para Pinheiro bravo. In *II Simpósio Iberoamericano sobre Gestión y Economia Forestal*, Barcelona, pp. 18-20.

PORTÉ, A., TRICHET, P., BERT, D., LOUSTAU, D., 2002. Allometric relationships for branch and tree Woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) *For. Ecol. and Manage.* **158**: 71–83.

SANQUETTA, C. R., CORTE, A.P.D., SILVA, F., 2011. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for Pinus in Brazil. *Carbon Balance and Management* **6**:6 doi:10.1186/1750-0680-6-6.

SOMOGYI, Z. CIENCIALA, E., MÄKIPÄÄ, R., MUUKKONEN, P., LEHTONEN, A.,WEISS, P., 2006. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research* **126** (2):197-207.

VIANA H., VEGA-NIEVA, D.J., ORTIZ-TORRES, L., LOUSADA, J., ARANHA, J., 2012. Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel* **102**: 737-745.

Entregue para publicação em dezembro de 2012
Aceite para publicação em fevereiro de 2013