

Equações para Estimar a Biomassa Aérea das Principais Lenhosas Arbustivas no Norte e Centro do País

***Helder Viana, **Paulo Fernandes e ***José Aranha**

Sumário. Este trabalho teve como objetivo desenvolver equações alométricas para estimar a biomassa aérea das principais espécies arbustivas lenhosas, com potencial interesse para aproveitamento bioenergético, que ocorrem no Norte e Centro do país. Os dados foram recolhidos em 53 parcelas localizadas nas sub-regiões NUT III do Tâmega, de Dão-Lafões e da Serra da Estrela. Em cada parcela foi avaliada a idade (t) e foram medidos parâmetros estruturais da vegetação, como altura (h) e percentagem de solo coberto (GC%). Numa área de 10m² a vegetação foi cortada e as principais espécies que ocorrem neste tipo de ecossistemas, *Adenocarpus* sp. (codesso), *Cytisus* sp. (giesta), *Erica* sp. (urze), *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk (carqueja) e *Ulex* sp. (tojo) foram separadas e pesadas no local. Em laboratório foi medida a humidade, de modo a que se pudesse estimar o peso seco da vegetação (t ha⁻¹). Diversas equações de regressão foram ajustadas pelo método dos mínimos quadrados tendo como variáveis independentes os parâmetros da vegetação (t, h, GC), individualmente ou combinados. Os modelos foram ajustados para cada uma das regiões e para os dados globais. A validação das equações foi baseada na análise conjunta do coeficiente de determinação (R²), coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj}), desvio padrão dos resíduos (s_{y,x}), análise gráfica dos resíduos percentuais e no Índice de Furnival (FI) para comparação entre modelos. Os melhores modelos obtidos apresentam uma boa qualidade de ajustamento atendendo à heterogeneidade deste tipo de vegetação. Para os dados globais obteve-se um R² superior a 0,73, sendo que a qualidade preditiva é maior nas equações ajustadas individualmente para cada região (R² > 0,84).

Palavras-chave: Vegetação mediterrânea, Modelos alométricos, matos, Dão-Lafões, Tâmega, Serra da Estrela

* Professor Adjunto

CI&DETS, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Viseu. Quinta da Alagoa-Ranhados, 3500-606 VISEU

** Professor Associado

CIFAP, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL

*** Professor Associado c/ Agregação

CIFAP, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Apartado 1013, 5001-801 VILA REAL

*, **, *** CITAB, UTAD. Apartado 1014, 5001-801 VILA REAL

1º Autor E-mail: hviana@esav.ipv.pt

Equations to Estimate the Aboveground Biomass of the Main Woody Shrub Species in the North and Center of Portugal

Abstract. The aim of this study was to develop allometric equations to estimate aboveground biomass of woody shrub species, occurring in the North-Center of Portugal, with potential interest for bioenergy utilization. Data was collected on 53 plots located in NUT III sub-regions of Tâmega, Dão-Lafões and Serra da Estrela. In each sample plot the age (t) was determined and the structural parameters of vegetation, such as height (h) and percentage of ground cover (GC%), were measured. Within an area of 10m² the vegetation was cutted and the main species that occur in this type ecosystems, *Adenocarpus* sp. (adenocarpus), *Cytisus* sp. (broom), *Erica* sp. (heath), *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk (carquesia) and *Ulex* sp. (furze) were separated and weighed *in situ*. In laboratory the moisture content was achieved, allowing to calculate the dry weight of the vegetation (t ha⁻¹). Several regression equations were fitted, by the least squares method, having as independent variables the vegetation parameters (t, h, GC), individually or combined. The models were adjusted for each region and for the global data. The validation of the equation was based on the joint analysis of the coefficient of determination (R^2), coefficient of determination adjusted (R^2_{adj}), standard error of the residues (s_{yx}), graphical analysis of the residues and Furnival's index (FI) for comparison between models. Considering the heterogeneity of this vegetation the best models obtained present satisfactory quality with good predictive ability (for the global models a $R^2 > 0.73$ was achieved, and for local models a $R^2 > 0.84$ was obtained).

Keywords: Mediterranean shrubland, regression analysis, aboveground biomass, Dão-Lafões, Tâmega, Serra da Estrela

1 - Introdução

A quantificação da vegetação arbustiva lenhosa é essencial em diversos estudos de biodiversidade, sobre o ciclo biogeoquímico do carbono ou para a predição e comportamento do fogo (FERNANDES, 2001; VEGA *et al.*, 2006). Com o interesse progressivo, observado nos últimos anos, para o aproveitamento energético desta vegetação, a quantificação da biomassa arbustiva ganhou ainda maior importância (VIANA *et al.*, 2010; VIANA, 2012). Particularmente, no Norte e Centro do País (NUT II) algumas espécies arbustivas apresentam características da biomassa, bem como propriedades de combustão, que anteveem o seu potencial uso para a geração energética (VIANA *et al.*, 2012b). Por outro lado, admitindo a estimativa de cerca de 1,4 milhões de hectares de matos (DNGF, 2010), no Norte e Centro do País, as elevadas cargas arbustivas geradas anualmente, justificam o interesse acrescido como potencial fonte de combustível (ARANHA *et al.*, 2011). A necessidade de estimar biomassa de forma periódica requer que se empreguem metodologias que permitam obter avaliações com a maior fiabilidade possível. Não obstante existirem outras abordagens indiretas, como o recurso à detecção remota, para a predição de biomassa arbustiva (e.g. VIANA *et al.*, 2009b; VIANA *et al.*, 2012a), o método mais eficaz para a predição da biomassa dos matos característicos destes ecossistemas (e.g. *Adenocarpus* sp. (codesso), *Cytisus* sp. (giesta), *Erica* sp. (urze), *Pterospartum tridentatum* (L.) Willk (carqueja) or *Ulex* sp. (tojo)) assenta na utilização de equações alométricas que relacionam a quantidade de biomassa com parâmetros biofísicos da vegetação (e.g. altura, densidade, idade, etc.). Na literatura são reportadas diversas equações para distintas regiões mediterrânicas (CASTRO *et al.*, 1996; RAMBAL, 2001) ou, mais em particular, para o País (e.g. FERNANDES *et al.*, 2002; KRIVTSOV *et al.*, 2009; VIANA *et al.*, 2009a; ARANHA *et al.*, 2011), relacionando a biomassa de espécies de matos mediterrâneos com diferentes variáveis independentes. No entanto, quer a composição florística das áreas de matos, quer as características morfológicas destas espécies, que são muito heterogêneas, fazem com que as equações ajustadas num ecossistema específico possam não ser adequadas para aplicar em ecossistemas com características diferentes. Assim, este trabalho apresenta um conjunto de equações alométricas para estimar a biomassa aérea das principais espécies arbustivas lenhosas, com potencial interesse para aproveitamento bioenergético, ajustadas para as regiões NUT III do Tâmega, de Dão-Lafões e da Serra da Estrela.

2 - Material e métodos

2.1 - Área de estudo e recolha das variáveis

Os dados utilizados no ajustamento das equações foram recolhidos em 53 parcelas distribuídas nas sub-regiões NUT III do Tâmega (23), Dão-Lafões (18) e Serra da Estrela (12). Após a análise espacial das áreas ardidas entre 1990 e 2007 foram selecionados locais percorridos pelo fogo apenas uma vez, num mínimo de três parcela em cada ano, e com uma área de ocupação superior a um hectare. Em cada local selecionado para amostragem foi delineado um esquema de recolha de dados baseado no uso de dois transeptos perpendiculares de 25m e de uma parcela circular, com 10 m², com o centro localizado no ponto de cruzamento das duas linhas de interseção. Nas duas linhas de intercepção foram medidos os parâmetros da vegetação, altura (m), área de projeção da copa (m²) e cobertura do solo (%) e calculados os valores médios. Em cada parcela de amostragem circular, a vegetação foi cortada, separada por espécie (giesta, tojo, carqueja, codesso e urze) e o peso verde da biomassa determinado (t ha⁻¹). Das espécies presentes na parcela escolheu-se uma amostra de cada, a qual foi colocada num recipiente hermeticamente fechado, para evitar a perda de humidade, e enviada para laboratório. Após secagem em estufa, a uma temperatura constante de 103±2°C, até se obter um peso seco constante, foi determinado o teor de humidade, permitindo obter o peso seco da biomassa presente em cada parcela.

2.2 - Modelos de regressão ajustados

A biomassa de plantas arbustivas, bem como a carga arbustiva lenhosa acumulada por unidade de área, tem sido modelada utilizando, particularmente, a forte correlação que se observa com o crescimento vegetal das plantas ao longo do tempo (e.g. HUNT, 1982). Contudo, a idade dos matorrais é, muitas vezes, difícil de estimar, particularmente onde não se consiga estabelecer o ano do último incêndio. Desta forma, os modelos que relacionem a quantidade de biomassa com outras variáveis estruturais da vegetação são essenciais. Neste estudo foram ajustados modelos de regressão lineares e não lineares, com diferentes formas funcionais, pelo método dos mínimos quadrados, utilizando como variáveis independentes a idade, a altura (m), a área de projeção da copa (m²) e a cobertura do solo (%), individualmente, ou combinadas entre si. Os modelos não lineares foram linearizados por logaritmização para o ajustamento, de forma a eliminar

a heterocedasticidade dos resíduos (PARRESOL, 1999). No final procedeu-se à correção do erro, introduzido pela transformação das regressões logarítmicas, calculado conforme indicado por BASKERVILLE (1972):

$$CF = (s_{yx})^2 / 2 \quad (1)$$

onde: s_{yx} é o desvio padrão dos resíduos obtido como:

$$s_{yx} = \sqrt{[(\sum_i^n (y_i - \hat{y}_i)^2) / (n-p)]} \quad (2)$$

sendo: o valor observado; o valor estimado para cada observação i ; n é o número de observações e p é o número de parâmetros do modelo.

Na Tabela 1 são apresentados apenas os modelos que obtiveram a melhor qualidade na fase de ajustamento.

Tabela 1 - Modelos de regressão ajustados à biomassa aérea das arbustivas lenhosas.

Modelo	Transformação	Variáveis independentes
$W_i = at^k = e^{\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t}$	$\ln W_i = \ln\beta_0 + \beta_1 \ln t$	t
$W_i = ae^{kt} = e^{\beta_0 + \beta_1 t}$	$\ln W_i = \beta_0 + \beta_1 t$	t
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2$		t, h
$W_i = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2}$	$\ln W_i = \beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2$	t, h
$W_i = e^{\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(th)}$	$\ln W_i = \ln\beta_0 + \beta_1 \ln(th)$	t, h
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$		t, GC
$W_i = e^{\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2}$	$\ln W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$	t, GC
$W_i = e^{\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC)}$	$\ln W_i = \ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC)$	h, GC
$W_i = \beta_0 + \beta_1 h^2 + \beta_2 GC^2$		h, GC
$W_i = e^{\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 \ln(hGC)}$	$\ln W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 \ln(hGC)$	t, h, GC
$W_i = \beta_0 + \beta_1 \ln GC + \beta_2 (th)^2$		t, h, GC
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC^2$		t, h, GC
$W_i = e^{\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC}$	$\ln W_i = \beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC$	t, h, GC

onde: W_i é a biomassa seca de matos ($t \text{ ha}^{-1}$); t é o tempo (anos) decorrido após o incêndio; h é a altura média dos matos (m); GC é a percentagem de cobertura do solo (%) e $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ são os parâmetros dos modelos.

2.3 - Validação dos modelos de regressão ajustados

Para a validação dos modelos foram calculados os resíduos (e_i) das estimativas para cada equação, $e_i = (y_i - \hat{y}_i)$, isto é, a diferença entre os valores de biomassa observados e os estimados, analisada a sua dispersão gráfica e comparadas as estatísticas do ajustamento, coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), valor percentual do desvio padrão dos resíduos ($s_{yx} \%$), após a transformação dos valores estimados, logaritmizados, para as unidades originais, e o Índice de Furnival (FI) para seleção do melhor modelo.

3 - Resultados

3.1 - Características da vegetação

Nas Figuras 1 a 3 apresentam-se as características da vegetação nas parcelas amostradas nas três sub-regiões do Tâmega, Dão-Lafões e Serra da Estrela. De forma a comparar os dados utilizados no ajustamento, as parcelas foram agrupadas por idade da vegetação (2 a 7 anos). Como se observa, a biomassa seca total ($t\ ha^{-1}$) é variável nas parcelas das três regiões, o que se explica parcialmente pelas espécies presentes nas parcelas. Por exemplo, as parcelas da Serra da Estrela são ocupadas quase exclusivamente por giesta (*Cytisus* sp.). Para a globalidade das parcelas, a biomassa aérea seca varia de 1,8 a 13,6 $t\ ha^{-1}$, a altura de 0,4 a 1 m e a percentagem de ocupação do solo varia desde 31% aos 2 anos de idade até 77,3%, aos 7 anos.

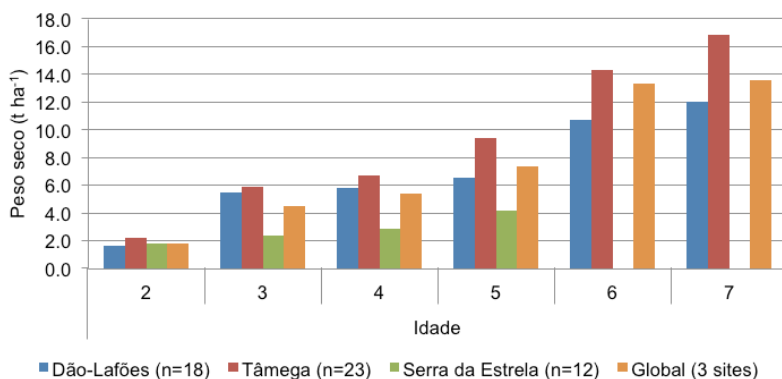


Figura 1 - Biomassa seca ($t\ ha^{-1}$) presente nas parcelas amostradas

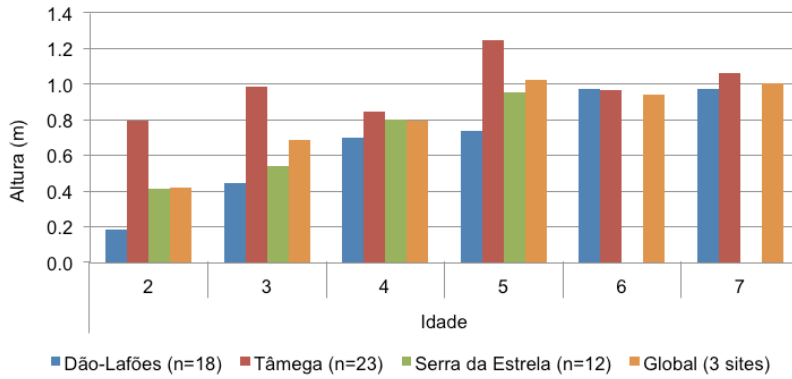


Figura 2 - Altura da vegetação (m) presente nas parcelas amostradas

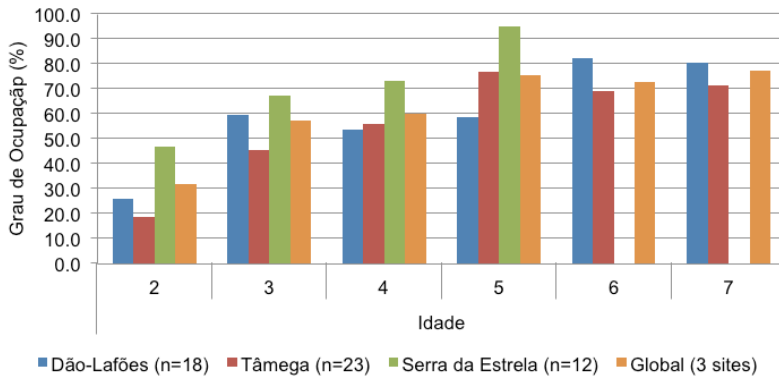


Figura 3 - Grau de ocupação da vegetação presente nas parcelas amostradas

3.2 - Resultados do ajustamento

Dos vários modelos ajustados selecionaram-se os melhores para cada região, e para os dados globais, com base nas estatísticas do ajustamento e no índice de Furnival (FI) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 - Estatísticas do ajustamento

Modelo	s_{yx} (%)	R^2	R^2_{aj}	FI (t ha ⁻¹)
Dão-Lafões				
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	30,6	0,760	0,745	2,32
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2$	27,2	0,794	0,766	1,94
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$	29,1	0,763	0,732	2,08
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	27,7	0,853	0,843	1,82
$W_i = \beta_0 + \beta_1 \ln GC + \beta_2 (th)^2$	22,1	0,864	0,846	1,58
Tâmega				
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	26,3	0,729	0,716	2,83
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2$	25,5	0,783	0,761	2,41
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$	20,9	0,855	0,840	1,97
$W_i = \beta_0 + \beta_1 h^2 + \beta_2 GC^2$	39,4	0,484	0,433	3,72
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC^2$	23,3	0,822	0,794	2,20
Serra da Estrela				
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t + CF)}$	16,9	0,829	0,812	0,39
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(th) + CF)}$	18,7	0,798	0,778	0,42
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2 + CF)}$	16,3	0,833	0,796	0,40
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	17,7	0,818	0,800	0,40
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 \ln(hGC) + CF)}$	16,5	0,837	0,801	0,40
Global				
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	38,9	0,694	0,688	2,41
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + CF)}$	35,7	0,730	0,719	2,29
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2 + CF)}$	51,7	0,627	0,612	2,69
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	52,2	0,443	0,432	3,26
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC + CF)}$	36,2	0,732	0,715	2,31

Tabela 3 - Modelos, coeficientes dos modelos de regressão e fatores de correção

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	CF
Dão-Lafões					
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	-0,600694	1,60337			0,0837
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2$	1,781170	0,15992	2,41287		
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$	1,697750	0,23920	-0,000003526543		
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	-0,711501	0,70960			0,0513
$W_i = \beta_0 + \beta_1 \ln GC + \beta_2 (th)^2$	-10,43477	3,85071	0,11084		
Tâmega					
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	-0,321772	1,61521			0,0632
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2$	0,563650	0,31076	1,33870		
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2$	2,482310	0,16038	0,00002696		
$W_i = \beta_0 + \beta_1 h^2 + \beta_2 GC^2$	4,191590	0,25946	0,00130739		
$W_i = \beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC^2$	0,462850	0,26216	0,42678	0,00054186	
Serra da Estrela					
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t + CF)}$	0,05022	0,26293			0,0107
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(th) + CF)}$	0,64429	0,43146			0,0126
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2 + CF)}$	0,47246	0,03601	0,0000001311		0,01159
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	-0,95480	0,50891			0,01136
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 \ln(hGC) + CF)}$	0,00398	0,02573	0,16364		0,01132
Global					
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln t + CF)}$	-0,611667	1,64655			0,0953
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + CF)}$	-0,542810	1,45222	0,25189		0,0859
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 t^2 + \beta_2 (tGC)^2 + CF)}$	0,738040	0,04683	-0,0000003843386		0,1187
$W_i = e^{(\ln\beta_0 + \beta_1 \ln(hGC) + CF)}$	-0,487720	0,58855			0,1739
$W_i = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln t + \beta_2 h^2 + \beta_3 GC + CF)}$	-0,521500	1,50982	0,258895562	-0,00172503	0,0872

onde: W_i é a biomassa seca de matos ($t\ ha^{-1}$); t é a idade após o incêndio; h é a altura média dos matos (m); GC é a percentagem de cobertura do solo (%) e são os coeficientes das estimativas e CF é o factor de correção para as equações logaritmizadas para ajustamento.

Atendendo à heterogeneidade dos tipos de vegetação em causa, os modelos de regressão ajustados, utilizando diferentes variáveis independentes, apresentam uma boa capacidade preditiva. Os melhores modelos apresentaram um $r^2 = 0,846$ e $s_{yx} = 22,1\%$; $r^2 = 0,840$ e $s_{yx} = 20,9\%$; $r^2 = 0,812$ e $s_{yx} = 16,9\%$ para as sub-regiões de Dão-Lafões, Tâmega e Serra da Estrela, respectivamente. Para o melhor modelo ajustado com os dados globais $r^2 = 0,719$ e $s_{yx} = 35,7\%$.

4 - Conclusões

A análise prévia dos dados de campo obtidos para cada uma das regiões (figuras 1 a 3) já evidenciava diferenças de crescimento vegetativo para a mesma idade pós fogo. A heterogeneidade da vegetação quanto à composição florística e características morfológicas das plantas (densidade, altura, múltiplos caules, etc.) justificou o ajustamento individual de modelos de regressão regionais. Os resultados estatísticos relativos aos vários modelos ajustados para cada região, mostram que as melhores estimativas são obtidas pelo uso de variáveis combinadas, uma vez que os parâmetros biofísicos individuais não expressam adequadamente a quantidade de biomassa existente. Para o mesmo grau de ocupação, obtiveram-se valores distintos de biomassa em função da altura da vegetação. Foram também ajustados modelos com os dados globais que permitem uma aplicação mais generalizada. Em todo o caso, a aplicação destes modelos deve ser feita a áreas de matos com características semelhantes àsquelas que deram origem aos modelos desenvolvidos, caso contrário poderão obter-se estimativas de biomassa erróneas.

Com base em medições simples e diretas de variáveis biofísicas, as equações agora apresentadas permitem obter boas estimativas da quantidade de biomassa florestal (matos). Estas estimativas são representativas das existências e poderão ser utilizadas em trabalhos de controlo de matos ou em estudos de viabilidade de usar a biomassa como combustível.

Referências bibliográficas

- ARANHA, J., CALVÃO, A., LOPES, D., VIANA, H., 2011. Quantificação da biomassa consumida nos últimos 20 anos de fogos florestais no Norte de Portugal. *Info* 26, 44-49.
- BASKERVILLE, G.L., 1972. Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research* 2, 49-53.

- CASTRO, I., CASADO, M.Á., RAMIREZ-SANZ, L., MIGUEL, J.M., COSTA, M., DIAZ PINEDA, F., 1996. Funciones de estimación de la biomasa aérea de varias especies del matorral mediterráneo del centro de la península Ibérica. *ORSIS* 11, 107-116.
- DNGF, 2010. *5º Inventário Florestal Nacional, Portugal Continental, 2005-2006, Relatório Final*. Direcção Nacional de Gestão Florestal (DNGF). Autoridade Florestal Nacional. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.
- FERNANDES, P., LOUREIRO, C., BOTELHO, H., FERREIRA, A., FERNANDES, M., 2002. Avaliação Indirecta da Carga de Combustível em Pinhal Bravo. *Silva Lusitana* 10(1).
- FERNANDES, P.A.M., 2001. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. *Forest Ecology and Management* 144, 67-74.
- HUNT, R., 1982. *Plant growth curves: the functional approach to plant growth analysis*. University Park Press.
- KRIVTSOV, V., FERNANDES, P., HIGHAM, B., PEZZATTI, G.B., LEGG, C., 2009. *Release of prototype software for allometric modelling of fuel structure with provisional case studies*. Deliverable D3.3-5 of the Integrated project "Fire Paradox", Project no. FP6-018505, European Commission, 33 pp.
- PARRESOL, B.R., 1999. Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *J For Sci* 45, 573-593.
- RAMBAL, S., 2001. Hierarchy and productivity of Mediterranean-type ecosystems, in: Roy J, S.B., Mooney HA (ed.), *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, San Diego, pp. 315-344.
- VEGA, J.A., FERNANDES, P., CUIÑAS, P., FONTÚRBEL, M.T., PÉREZ, J.R., LOUREIRO, C., 2006. Fire spread analysis of early summer field experiments in shrubland fuel types of northwestern Iberia. *Forest Ecology and Management* 234, S102-S102.
- VIANA, H., FERNANDES, P., ROCHA, R., LOPES, D., ARANHA, J., 2009a. Alometria, Dinâmicas da Biomassa e do Carbono Fixado em Algumas Espécies Arbustivas de Portugal. *6º Congresso Florestal Nacional*, Ponta Delgada, Açores. 6-9 Outubro, pp. 244-252.
- VIANA, H., LOPES, D., ARANHA, J., 2009b. *Predição de biomassa arbustiva lenhosa empregando dados de inventário e o índice de diferença normalizada extraído em imagens Landsat 5 TM*. ISPV Millenium. 37. Available online at: <http://www.ipv.pt/millenium/Millenium37/15.pdf>, (Accessed May 2012).
- VIANA, H., COHEN, W.B., LOPES, D., ARANHA, J., 2010. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Applied Energy* 87, 2551-2560.
- VIANA, H., 2012. *Modelling and mapping aboveground biomass for energy usage and carbon storage assessment in mediterranean ecosystems*. University of Trás-os-Montes e Alto Douro, PhD Thesis, Vila Real, Portugal, pp. 428.
- VIANA, H., ARANHA, J., LOPES, D., COHEN, W.B., 2012a. Estimation of crown biomass of *Pinus pinaster* stands and shrubland above-ground biomass using forest inventory data, remotely sensed imagery and spatial prediction models. *Ecological Modelling* 226, 22-35.
- VIANA, H., VEGA-NIEVA, D.J., ORTIZ TORRES, L., LOUSADA, J., ARANHA, J., 2012b. Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel* 102, 737-745.

