

# FLORESTAS EM CLIMAS MEDITERRÂNICOS E BIOMASSA PARA ENERGIA: UM CASO DE ESTUDO PARA O PINHEIRO BRAVO

A.C. Gonçalves<sup>1</sup>, A. Sousa<sup>1</sup>, J.R.M. Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal. E-mail: acag@uevora.pt

### Resumo

Os sistemas florestais mediterrânicos são caracterizados por um conjunto de espécies restrito, adaptadas às características edáficas e climáticas. Em Portugal a área florestal aumentou até meados do século passado, tendo posteriormente estabilizado. As operações culturais e de regeneração geram um conjunto de resíduos que podem ser aproveitados de duas formas, uma com o seu destroçamento com ou sem incorporação no solo, para a manutenção do potencial produtivo do solo e outra com a sua remoção do povoamento e utilização para fins energéticos. Neste artigo analisa-se a utilização de intervenções silvícolas para estimar a quantidade de resíduos produzidos e a quantidade disponível para fins energéticos. Os resultados indicam que para um modelo de silvicultura para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo se poderá utilizar para fins energéticos entre cerca de 30% do valor total da biomassa produzida e as intervenções culturais para um caso de estudo para a mesma espécie indicam que a proporção de resíduos removida é inferior à do modelo, dada a menor densidade dos povoamentos.

**Palavras Chave:** Florestas, biomassa, silvicultura.

### Abstract

Mediterranean forest systems are characterized by a restrict set of forest species, adapted to the edaphic and climatic conditions. In Portugal the forest area increased until the middle of the last century, having stabilised after. The cultural and regeneration interventions generate residues that can be used in two different ways, one by chipping, with or without incorporation in the soil, to maintain the soil productive potential and the other with their removal from the stand and their use to produce energy. In this paper the silvicultural interventions are used to predict the quantity of residues produced and the quantity available for the production of energy. The results indicate for a model of silviculture for pure even-aged stands of maritime pine that 30% of the total biomass produced could be used for energy production and the cultural interventions for a study case for the same species indicate that the proportion of residues removed is smaller when compared to the one of the model, due to the smaller density of the stands.

**Key words:** Forests, biomass, silviculture.

### 1. INTRODUÇÃO

Até ao final do século XIX são poucas as informações concretas acerca da composição e distribuição da floresta em Portugal. Os primeiros inventários florestais realizados no século XIX indicam uma ocupação florestal reduzida e uma grande proporção de incultos, com as formações de carvalhos a ocuparem 2/3 da área florestal. Desde essa data tem-se observado o aumento progressivo da área florestal, fundamentalmente pela ocupação dos terrenos incultos, sem vocação agrícola (Alves et al., 2012; Fabião, 1996). Até aos anos 90 do século XX verificou-se um aumento da área de ocupação para quase todas as espécies, com destaque para o aumento da área de pinheiro bravo no início e do eucalipto na década 60. A partir dos meados do século passado observa-se a estabilização da área florestal entre os 35-40%. De acordo com o 5º inventário florestal nacional (IFN5, 2010) a floresta representa 39% do uso do solo em Portugal continental, enquanto os incultos, agricultura, águas interiores e outros usos representam 22%, 33%, 2% e 5%, respetivamente. Em relação ao uso florestal, a área ocupada por povoamentos para a espécie dominante reparte-se do seguinte modo: 28% pinheiro bravo, 23% eucalipto, 23% sobreiro, 13% azinheira, 5% carvalhos, 4% pinheiro manso, 1% castanheiro, outras folhosas.

A biomassa florestal é definida como a fração biodegradável dos produtos e desperdícios da atividade florestal. Inclui apenas o material resultante de operações de gestão dos combustíveis, das operações de condução (p. e. limpezas, desbastes, desramações e podas) e da exploração dos povoamentos florestais (p. e. ramos, bicadas, cepos, folhas, raízes, cascas) e resíduos florestais como as sobras de material que resultam da transformação da matéria-prima em produtos florestais na indústria, excluindo a estilha (feita diretamente na floresta ou não) e as partículas, mas incluindo retestos, costaneiras, cerne de folheados, serrim, resíduos de carpintaria e de mobiliário (Sousa, 2011).

A biomassa total foi quantificada no IFN5 (2010), quer a quantidade total de biomassa pelos acréscimos médios anuais quer a biomassa média por hectare por espécie. Estes valores representam o potencial produtivo do povoamento, estando disponível para fins energéticos uma pequena parte. Por outro lado, a exploração de biomassa para energia deverá ter em conta a sustentabilidade do sistema quer a produtiva quer a económica, nomeadamente os fatores limitantes ao nível da exploração (p.e relevo), ambientais (p.e. tipo de solo) e económicos (p.e. exploração muito onerosa). Sousa (2011) refere que a biomassa que pode ser utilizada para fins energéticos corresponde a cerca de 35% do valor do potencial produtivo da biomassa total.

A produção de biomassa para fins energéticos tem como principal origem as práticas silvícolas de corte, sejam limpezas, desbastes ou cortes de realização. Permitem a valorização de uma componente sem valor comercial, ou seja os produtos de pequenas dimensões sem valor para a indústria florestal (Smith et al., 1997; Boudru, 1992; Schütz, 1990; Assmann, 1970). No entanto, a exportação de todos os materiais de pequenas dimensões pode resultar numa exportação considerável de elementos minerais e, conseqüentemente, originar a redução do potencial produtivo da estação (Smith et al., 1997; Boudru, 1992). Há então que encontrar práticas de gestão florestal e modelos de silvicultura, que otimizem a valorização dos resíduos minimizando os impactos na estação.

Os objetivos deste estudo são a avaliação da biomassa produzida e qual a proporção que poderá ser usada para fins energéticos para um modelo de silvicultura para povoamentos

puros, regulares de pinheiro bravo; e a comparação dos valores obtidos pelo modelo e os resultantes de intervenções culturais em parcelas de inventário.

### 2. MATERIAL E MÉTODOS

Na estimativa da proporção de biomassa utilizável para produção de energia foram consideradas duas abordagens: uma em que se quantifica a partir de um caso teórico em função de um modelo de silvicultura e outra com a quantificação a partir de uma base de dados de um inventário.

No primeiro caso optou-se por utilizar o modelo de silvicultura de Oliveira et al. (2000) para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo regulares, com termo de explorabilidade aos 45 anos, cuja produção principal é madeira para desenrolamento e folha. Neste modelo de silvicultura sugere-se a instalação por plantação com um compasso de 4x2 m ou 3x2 m, correspondendo a uma densidade entre 1250 e 1670 arv/ha e as operações silvícolas indicadas no quadro 1. Para este estudo considerou-se a instalação de 1500 plantas por hectare, uma limpeza com a redução de densidade para 1125 arv/ha; duas desramações, a primeira entre os 10-15 anos, em todas as árvores até 2 m de altura, e a segunda em 500 árvores até 4 m de altura; três desbastes o primeiro com a remoção de 35% do número de árvores, e o segundo e o terceiro com a remoção de 25%; e o corte final aos 45 anos.

*Quadro 1 - Modelo de silvicultura para povoamentos puros regulares de pinheiro bravo de Oliveira et al. (2000).*

Idade	Densidade	Intervenção	Observações
0-2	1250-1670	Plantação/sementeira	Retanchar, se necessário
0-10	1000-1200	Controlo de vegetação espontânea	2 ou 3, em função do desenvolvimento da vegetação
		Limpezas	Em número variável
10-15		1ª desramação	Todas as árvores, até uma altura de 2 m
15-20		1º desbaste pelo baixo	Remoção de 20-40% do número de árvores
		2ª desramação	As melhores árvores, 300-500, até 3-4 m de altura
25-30		2º desbaste misto	Remoção de 20-30% do número de árvores
35-40		3º desbaste misto	Remoção de 20-30% do número de árvores
40-45	300-500	Corte final	

Utilizou-se o programa Pbravo 2.0 (Páscoa, 2001) para simular o desenvolvimento do povoamento em função do modelo descrito acima. A biomassa foi calculada com base nas funções alométricas do IFN5 (2010), para a biomassa do fuste ( $w_s$ , 1), dos ramos ( $w_{br}$ , 2), das folhas ( $w_l$ , 3) e total ( $w_a$ , 4). A biomassa por hectare para cada uma das quatro componentes anteriores é somatório da biomassa de todas as árvores que existem no povoamento, reportado ao hectare.

$$w_s = 0,0146 \times d^{1,94687} \times h^{1,106577} \quad (1)$$

$$wbr = 0,0308 \times d^{2,75761} \times \left(\frac{h}{d}\right)^{-0,39381} \quad (2)$$

$$wl = 0,09980 \times d^{1,39252} \times \left(\frac{h}{d}\right)^{0,71962} \quad (3)$$

$$wa = ws + wbr + wl \quad (4)$$

Considerou-se, nas práticas culturais e no corte final, que os resíduos utilizáveis para energia seriam: nas desramações 30% da biomassa dos ramos e das agulhas; no primeiro e segundo desbaste 100% da biomassa do fuste e dos ramos, no terceiro desbaste 35% da biomassa do fuste e dos ramos e no corte final 15% da biomassa total.

No segundo caso a base de dados teve origem num inventário florestal na Herdade de Pinheiro da Cruz (em aproximadamente 1000 ha), localizada no concelho de Grândola, freguesia do Carvalhal, cuja ocupação predominantemente florestal, e cuja espécie principal é o pinheiro bravo (*Pinus pinaster*). O trabalho preparatório do inventário consistiu na classificação de uma imagem do satélite QuickBird, da Digital Globe, com identificação da área de pinheiro bravo puro. A imagem foi adquirida no modo “Pan-Sharpned” correspondendo à fusão da banda pancromática com as 4 bandas espectrais, b1-azul (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ), b2-verde (0,52-0,60 $\mu\text{m}$ ), b3-vermelho (V) (0,63-0,69 $\mu\text{m}$ ) e b4-infravermelho próximo (IVP) (0,76-0,90 $\mu\text{m}$ ), resultando as 4 bandas com uma resolução espacial de 0,70 metros e resolução radiométrica de 16 bits.

Primeiro realizou-se a ortorectificação e a correção geométrica da imagem. Em seguida foi calculado o índice de vegetação de diferenças normalizadas (NDVI= (IVP – V)/(IVP+V)), obtido com base nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V) (Tucker, 1979). Com base neste índice obteve-se uma máscara de vegetação utilizando-se o método de segmentação multiresolução. Sobre a máscara de vegetação realizou-se a classificação identificando as áreas de pinheiro bravo, com o método do vizinho mais próximo. Este processamento da imagem foi realizado no programa ENVI (versão 4.8) e Definiens Developer (versão 8.0.1).

A área em estudo foi dividida numa malha quadrada de 22,4x22,4 m, em que cada malha foi classificada em função do grau de coberto usando ArcCatalog and ArcMap software (version 9.3), de Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI). As malhas puras foram divididas em 3 estratos em função do grau de coberto: i) 10-40%; ii) 40-60% e iii) >60%. Foi usada uma amostragem estratificada casual proporcional para seleccionar as parcelas de inventário.

A base de dados é composta por 65 parcelas temporárias, medidas em setembro de 2011, com um número total de indivíduos de 985. O povoamento principal foi definido como todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito superior a 5 cm. Nas parcelas foram medidos, em todas as árvores, o diâmetro à altura do peito, a altura total, os raios de copa nas direções norte, sul, este e oeste (Avery e Burkhart, 1994). Em todas as parcelas foi determinado o número de árvores por hectare (N), a área basal por hectare (G), o grau de coberto (GC) e a biomassa por hectare com as equações 1, 2, 3 e 4.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das estimativas da biomassa do fuste, dos ramos, das agulhas e total, ao longo da revolução para o modelo de silvicultura de Oliveira et al. (2000) são apresentados no quadro 2. A biomassa total acumulada até ao termo da revolução corresponde à soma da biomassa área aos 45 anos, da limpeza e dos três desbastes. Nas intervenções silvícolas foi removido um total de 66,7  $\text{tha}^{-1}$  de biomassa utilizável para fins energéticos, repartida da seguinte forma: i) limpeza, remoção de 375  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 0,5  $\text{tha}^{-1}$ ; ii) desramação, nas duas intervenções de 731  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 500  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 1,6  $\text{tha}^{-1}$  e 3,9  $\text{tha}^{-1}$ , respetivamente; iii) desbaste, nas três intervenções removeram-se 394  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , 183  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$  e 137  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 9,5  $\text{tha}^{-1}$ , 18,0  $\text{tha}^{-1}$  e 10,2  $\text{tha}^{-1}$ ; iv) corte final, 411  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ , correspondendo a 23,0  $\text{arv}\cdot\text{ha}^{-1}$ . O total de biomassa aérea aos 45 anos é de 212,2  $\text{tha}^{-1}$ , correspondendo a biomassa utilizável para fins energéticos a 31%, em concordância com o valor indicado por Sousa (2011).

*Quadro 2 - Parâmetros de densidade e biomassa para o primeiro caso.*

Idade (anos)	Intervenção	N (arv/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	ws (t)	wbr (t)	wl (t)	wa (t)
10		1125	5,6	4,9	2,6	1,0	8,5
15		1125	13,8	21,1	7,4	2,3	30,8
15	Desbaste	731	9,0	14,3	4,7	1,5	20,5
20		731	16,1	33,7	10,0	2,4	46,1
25		731	23,3	57,6	16,5	3,1	77,3
25	Desbaste	548	17,5	44,2	12,0	2,4	58,6
30		548	23,7	67,1	18,5	2,9	88,5
35		548	29,8	92,2	26,0	3,3	121,6
35	Desbaste	411	22,3	70,7	19,2	2,5	92,4
40		411	27,6	93,8	26,7	2,9	123,4
45		411	32,7	116,3	34,1	3,1	153,5

Para todas as parcelas da Herdade de Pinheiro da Cruz foi efetuada a análise da estrutura, que indicou a necessidade de intervenções de desramação e desbaste em 18 parcelas, desbaste em 2 parcelas e de desramação em 18 parcelas. Para a estimativa da biomassa para energia foram usados os critérios indicados no primeiro caso para a desramação. Como se pode observar no quadro 3 as parcelas têm densidades relativamente baixas; áreas basais pequenas, indicativas de povoamentos jovens; e grau de coberto característico da densidade e da dimensão dos indivíduos. A biomassa total, dados os três parâmetros gerais de densidade, é por isso relativamente reduzida. A biomassa de resíduos, correspondente essencialmente a resíduos de desramação, exceto na parcela Pb 2, varia entre 8% e 12%. Na parcela Pb 2 sugere-se uma intervenção de desbaste com a remoção de 50% dos indivíduos, que embora seja um valor mais elevado para o primeiro desbaste no modelo de silvicultura descrito, se justifica pela ausência da limpeza e pela presença de muitas árvores com más conformações e na Pb 12 com a remoção de 20% dos indivíduos para remover os pés muito mal conformados.

*Quadro 3 - Parâmetros de densidade absoluta e de biomassa para o segundo caso.*

Parcela	N (arv/ha)	G (m <sup>2</sup> /ha)	GC (%)	Biomassa (tha <sup>-1</sup> )			
				Aérea (t/ha)	Lenho (t/ha)	Resíduos (t/ha)	Resíduos (%)
Pb 1	219	4,0	14,8	9,4	8,6	0,9	9
Pb 2	1435	12,1	50,5	25,7	16,4	9,4	36
Pb 3	239	5,5	40,2	13,9	12,2	1,6	12
Pb 4	140	5,5	24,7	19,8	17,9	1,9	10
Pb 5	120	1,2	6,9	2,3	2,1	0,2	10
Pb 6	279	9,2	38,6	30,6	28,1	2,5	8
Pb 7	299	6,3	23,5	17,0	15,8	1,2	7
Pb 8	199	6,2	22,9	18,7	16,9	1,8	10
Pb 9	279	8,6	30,6	29,1	26,6	2,4	8
Pb 10	399	7,5	36,4	20,6	19,3	1,3	6
Pb 11	299	7,6	26,1	25,2	24,1	1,1	4
Pb 12	419	8,3	26,3	24,5	21,6	2,9	12
Pb 13	179	3,8	16,0	10,3	9,5	0,8	8
Pb 14	319	6,7	36,6	18,6	17,1	1,5	8
Pb 15	239	6,6	32,6	19,9	18,9	1,0	5
Pb 16	299	6,9	20,1	22,0	20,5	1,6	7
Pb 17	319	7,2	32,6	20,5	19,5	1,0	5
Pb 18	299	6,7	24,8	21,4	19,8	1,6	7

#### 4. CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados ressalta que no primeiro caso a produção média anual de resíduos será de 1,5 tha<sup>-1</sup> e a estimativa dos resíduos para as parcelas do segundo caso apresenta para a maioria das parcelas valores bastante inferiores aos indicados por Sousa (2011), correspondendo a 1,9 tha<sup>-1</sup>. Os resíduos de desramação serão 1,4 tha<sup>-1</sup>, inferiores aos do primeiro caso, com 1,6 tha<sup>-1</sup> para a primeira desramação, dada a diferença de densidade das parcelas em relação ao modelo de silvicultura considerado. Para o desbaste parcela Pb 2 dado que não foi sujeita a limpezas, apresenta, como seria de esperar, um valor inferior (8,0 tha<sup>-1</sup>) ao do primeiro caso (9,5 tha<sup>-1</sup>), assim como a Pb 12 (1,4 tha<sup>-1</sup>) dado que se optou por um grau de desbaste inferior ao primeiro caso e uma vez que o desbaste é pelo baixo, removendo preferencialmente os indivíduos de menores dimensões. Considerando, no segundo caso, a evolução destes povoamentos jovens com uma acumulação crescente de biomassa, tanto maior quanto mais velho for o povoamento (Cfr. quadro 2), potencialmente não haverá tendência para a perda de potencial produtivo da estação.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Estabelecimento Prisional de Pinheiro da Cruz e à Dra. Adélia Palma a permissão para a instalação e medição das parcelas, e aos Eng.ªs Carla Ramos, Pedro Antunes e David Gomes pela sua ajuda nas medições de campo. Os autores agradecem ao Programa Operativo de Cooperação Transfronteiriço Espanha - Portugal (POCTEP), que financiou o projecto Altercexa - Medidas de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático a Través del Impulso de las Energías Alternativas en Centro, Alentejo y Extremadura, no âmbito do qual este estudo foi desenvolvido. (Ref<sup>a</sup> 0317\_Altercexa\_4\_E).