ACHAR
Associação dos
Agricultores de
Charneca

PLANO DE AQUISIÇÃO DE COMPETÊNCIAS E ANIMAÇÃO DO PRODER

PROJECTO DE ESTRATÉGIA INTEGRADA E SUSTENTÁVEL PARA PROMOVER A UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA

ACHAR – Associação dos Agricultores de Charneca

Rua Direita de S. Pedro n.º 152 – 2140-098 Chamusca

O presente projecto surge no âmbito do Plano de Aquisição de Competências e Animação, designado PACA, onde se pretende apresentar um projecto de estratégia integrada e sustentável que promova a utilização do recurso Biomassa.

Chamusca, Agosto de 2013

INDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS 9

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 11

2.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA 11

2.2. TOPOGRAFIA E OCUPAÇÃO CULTURAL 13

2.3. ESTRUTURA FUNDIÁRIA 15

3. BIOMASSA – CONCEITOS GERAIS 17

4. SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL 20

4.1. BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL 20

4.1.1. Produção 21

4.1.1.1. Gestão dos povoamentos florestais 21

4.1.1.2. Actividades industriais 24

4.1.1.3. Gestão Municipal 24

4.1.2. Logística 24

4.1.2.1. Transporte primário 24

4.1.2.2. Processamento 25

4.1.2.3. Transporte secundário 31

4.1.3. Sistemas de exploração 33

4.1.3.1. Trituração no carregadouro 33

4.1.3.2. Trituração no terreno 34

4.1.3.3. Trituração na unidade consumidora 35

4.1.4. Tecnologias de conversão 36

4.1.4.1. Combustão 36

4.1.4.2. Gaseificação 38

4.1.4.3. Pirólise 38

4.2. CULTURAS ENERGÉTICAS DEDICADAS 39

4.2.1. Áreas potenciais para culturas energéticas dedicadas 43

4.3 BIOMASSA AGRÍCOLA E AGRO-INDUSTRIAL E BIOMASSA ORIUNDA DE RESÍDUOS 44

5. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE BIOMASSA 46

5.1. BARREIRAS TÉCNICAS, LEGAIS E ECONÓMICAS: BIOMASSA POTENCIAL E BIOMASSA REAL OU DISPONÍVEL 46

5.2. METODOLOGIA 53

5.2.1. Quantificação da biomassa florestal residual potencial 53

5.2.1.1. Metodologia de quantificação de BFR para os povoamentos de pinheiro . 54

5.2.1.2. Metodologia para a avaliação da BFR proveniente de povoamentos de eucalipto 59

5.2.2. Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual 61

5.2.2.1. Compilação dos custos das operações de exploração de BFR 62

5.2.3. Quantificação da biomassa florestal residual potencial 64

5.2.4. Custo das operações de exploração de biomassa florestal residual 68

5.2.5. Determinação do contributo da área de estudo para a produção de electricidade 71

5.3. VARIÁVEIS AO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOMASSA 71

5.3.1. INCÊNDIOS FLORESTAIS 71

5.3.2. DECLIVE 72

6. AQUECIMENTO DE EDIFÍCIOS COM BASE EM SISTEMAS DE BIOMASSA 73

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS 73

6.2. BARREIRAS TÉCNICAS, LEGAIS E ECONÓMICAS 76

6.3. FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO A BIOMASSA 78

6.3.1. Tipos de Combustível 80

6.3.2. Armazenamento do Combustível 82

6.3.3. Caldeiras automáticas 88

6.3.4. Produção de água quente e integração de energia solar térmica 91

6.3.5. Operação e manutenção 94

6.4. ASPECTOS A TER EM CONTA NA AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO 97

6.5. REGULAMENTOS E INCENTIVOS 98

6.5.1. Regulamentos 98

6.5.2. Incentivos 99

7. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA ÁREA DE ESTUDO 100

8. CONCLUSÕES 102

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104

10. ANEXOS 109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Área de Estudo (Fonte: CAOP, 2012) 11

Figura 2 – Repartição da Biomassa Florestal Residual por componentes 18

Figura 3 – Esquema geral dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual 21

Figura 4 – Desbastes e desramações em pinheiro manso (esq.) e pinheiro bravo (dir.) 23

Figura 5 - *Skidder* de cabo (esq.) e *forwarder* (dir.) (RE Consulting, 2007) 25

Figura 6 - Triturador alimentado por uma máquina separada (grua) 26

Figura 7 - Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas 27

Figura 8 - Esquema de funcionamento dos trituradores de facas de disco (esq) e de tambor (dir.) 28

Figura 9 - Estilha resultante de uma trituração com martelos 28

Figura 10 - Triturador de martelos fixos (esq.) e triturador de martelos livres (dir.) 29

Figura 11 - Crivagem de estilha proveniente da trituração de cepos. A pilha de estilha (dir.) deverá passar por nova trituração para obter uma estilha de melhor qualidade 30

Figura 12 - Máquina para de produção de fardos (RS2000) montada num forwarder 31

Figura 13 - Descarga de estilha de um contentor em camião com báscula 32

Figura 14 - Trituração de BFR no carregadouro: a estilha é projectada directamente para o camião 34

Figura 15 - Trituração de BFR produzida num povoamento tradicional de choupo 35

Figura 16 - Trituração no terminal: a estilha fica armazenada num local sob cobertura, permitindo uma secagem mais rápida 35

Figura 17 – Parcelas com culturas florestais energéticas em Sevilha (Espanha): choupo, paulónia e eucalipto 40

Figura 18 – Parcela de choupo com 6667 plantas/ha na Chamusca 41

Figura 19 – Equipamento de corte mecanizado com triturador incorporado. 42

Figura 20 - Representação da oferta potencial (a verde) e oferta real (a vermelho) 48

Figura 21 - Esquema geral da metodologia para a avaliação das diferentes categorias de potencial de biomassa e respectivas condições 51

Figura 22 - Método de pesagem da BFR com recurso a uma balança romana 56

Figura 23 - Esquema da metodologia implementada para a avaliação das disponibilidades de BFR para os povoamentos de pinheiro bravo 58

Figura 24 - Características das parcelas analisadas no estudo do CBE (2004) 62

Figura 25 - Comparação entre a equação de biomassa obtida com duas equações da bibliografia 65

Figura 26 - Custos de transporte secundário (€/t) em função da distância entre o carregadouro e unidade consumidora 70

Figura 27 - Estrutura de custos da BFR para o cenário Optimista (%/t.km 70

Figura 28 - Estrutura de custos de BFR para uma distância de transporte secundário de 35 km e para o cenário Optimista 71

Figura 29 - Custos específicos de investimento em sistemas de aquecimento a biomassa 74

Figura 30 - Comparação do ciclo de vida das emissões 75

Figura 31 - Estilha seca (esq.) e pellets (dir.) 80

Figura 32 - Exemplos de armazenamento e transporte do combustível 83

Figura 33 - Entrega de pellets 87

Figura 34 - Sistema de dois circuitos com depósito de água quente descentralizado 92

Figura 35 - Sistema de dois circuitos com produção de água quente via permutador de calor. 93

INDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Área das Freguesias dos Concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca 12

Quadro 2 – Distribuição das Espécies Florestais por concelho em hectares 14

Quadro 3 – Área Florestal por Freguesia 14

Quadro 4 – Distribuição dos proprietários em função da classe de área, no Concelho da Chamusca 16

Quadro 5 - Densidade inicial, grau de desbaste e idades (em anos) dos desbastes e corte final dos modelos de silvicultura considerados para obtenção dos cenários Optimista e Conservador (D1= 1º desbaste; D2= 2º desbaste; D3= 3º desbaste; CF= Corte final) 55

Quadro 6 - Cenários considerados na estimativa de produção de BFR proveniente dos povoamentos de eucalipto (Iqe = Índice de Qualidade da Estação; N = número inicial de plantas por hectare)..... 61

Quadro 7 - Produção total de BFR de pinheiro bravo e apresentação dos valores intermédios utilizados para o seu cálculo 66

Quadro 8 - Produção de BFR para os povoamentos de eucalipto estimada com base no modelo Globulus 2.1 67

Quadro 9 - Produção anual de BFR (t ms/ha.ano) por espécie e cenário..... 67

Quadro 10 - Produção anual potencial de BFR (t ms/ano) por espécie e cenário..... 68

Quadro 11 - Custos de transporte primário e trituração (em €/t)..... 69

Quadro 12 – Número de habitantes e número de edifícios nas Freguesias dos Concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca..... 100

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

O sistema global de energia baseia-se principalmente na produção de energia a partir de combustíveis fósseis, como o petróleo, o gás e o carvão, que geram um aumento dos níveis de CO_2 na atmosfera e causam graves efeitos ambientais, como o aquecimento global. Além disso, esses recursos são limitados e estão localizados em áreas específicas do planeta, causando grandes disparidades económicas entre os países que têm reservas de combustíveis e os que não têm.

Neste cenário energético, uma aposta com o uso de energias renováveis pode melhorar os efeitos negativos dos combustíveis fósseis no ambiente.

Portugal e mais propriamente a área de estudo, os concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca não têm recurso a combustíveis fósseis, pelo que os renováveis serão uma opção. Estes três concelhos têm, embora com significativas diferenças entre si, uma importante actividade agrícola e florestal. O sector primário tem uma importância central na economia e residentes destes concelhos. Em particular pela grave crise económica que afecta o país, a política económica terá que estar direccionada para a promoção de bens e serviços que melhorem a balança comercial.

Neste âmbito, a biomassa apresenta uma elevada importância pela sua transversalidade à gestão florestal, produzindo energia e calor neutros no que respeita às emissões de CO_2. Cumulativamente com as outras fileiras industriais, a biomassa promove uma gestão profissional das florestas, contribuindo para a redução dos riscos associados, nomeadamente incêndios, bem como para a sua sustentabilidade. A biomassa tem ainda um impacte social relevante na criação de emprego estável, directo e indirecto, em zonas menos desenvolvidas, contribuindo assim para a fixação de população.

O Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis define um conjunto de metas para as diferentes fontes de energia de base renovável. Contudo, existe a necessidade de conciliar a política nacional com o contexto da região em estudo e das suas características (localização, clima, estrutura fundiária, consumidores, densidade habitacional, etc.).

O objetivo geral deste projeto consiste em delinear e propor uma Estratégia integrada e sustentável que promova a utilização do recurso biomassa na região de estudo e um Plano de Acção com metas quantificáveis e ambiciosas para 2016. Trata-se de propor às autarquias presentes na área de estudo um plano de cinco anos que permita potenciar um recurso regional com diversas valências económicas, sociais e ambientais.

Foram definidos ainda os seguintes objectivos específicos:

1. Caracterizar a produção dos vários tipos de biomassa florestal e agrícola, incluindo a sua qualidade, e projectar a produção futura em diferentes cenários;
2. Analisar a produção e consumo de energia na área de estudo, identificando e caracterizando os vários agentes do sector;
3. Avaliar a componente técnico-económica do mercado da biomassa, identificando as barreiras técnicas à introdução da biomassa como fonte de energia, estimando custos de produção de biomassa e comparando-os com as fontes de energia concorrentes;
4. Disseminar pelos *stakeholders* os resultados do projecto, principalmente pelo grupo-alvo mais relevante, as Câmaras Municipais de Almeirim, Alpiarça e Chamusca.

Um bom conhecimento das fontes ou recursos energéticos, as necessidades técnicas dos seus locais e o impacte sobre o ambiente estabelece uma melhor estratégia para abastecimento das instalações. Neste sentido, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), é uma ferramenta indispensável, uma vez que permite analisar a complexidade e a variedade tecnológica destes recursos e identificar os factores mais relevantes do ponto de vista da área em estudo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Os concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca localizam-se na região do Ribatejo, distrito de Santarém e, segundo a NUTS III estão integrados na Lezíria do Tejo (Anexo I – Figura 1).

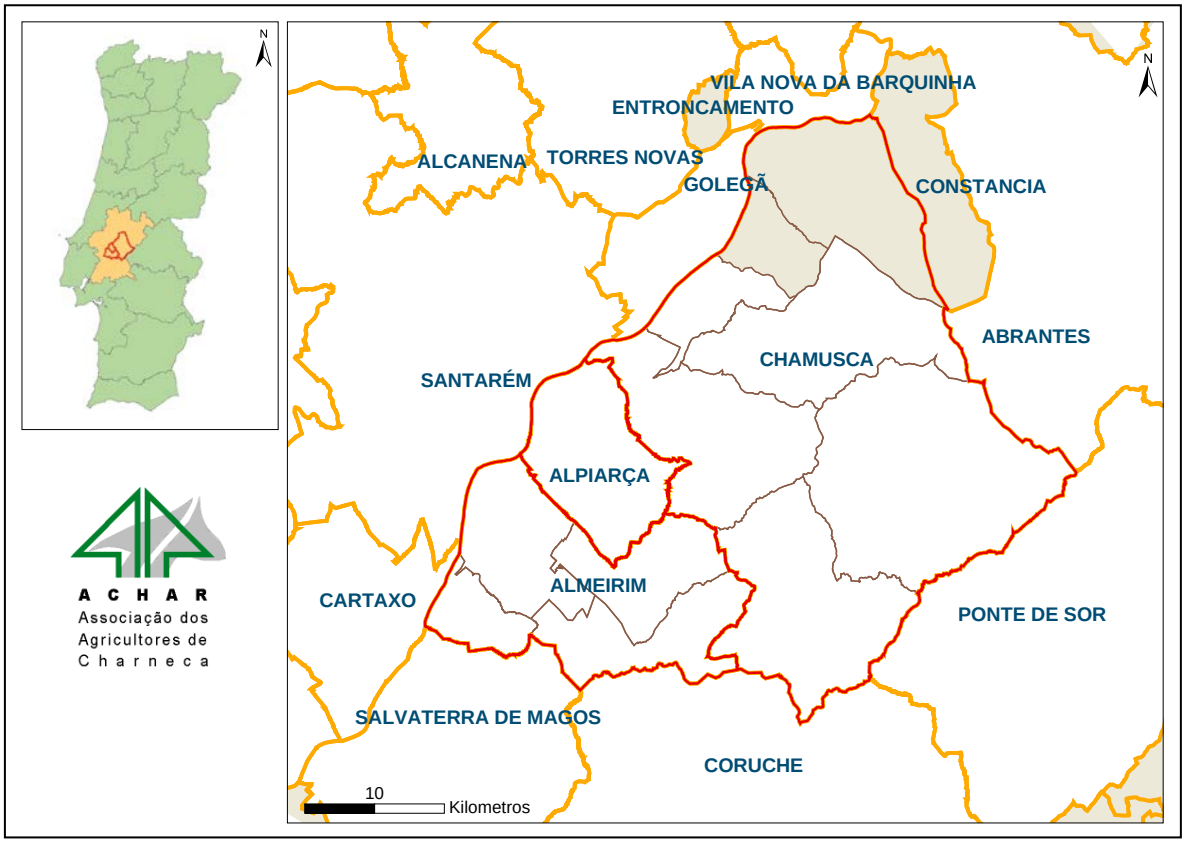

Figura 1 – Localização da Área de Estudo (Fonte: CAOP, 2012)

O concelho de Almeirim é delimitado a Norte pelo concelho de Alpiarça, Santarém e Chamusca, este último delimita também a Este, a Oeste, confronta com o município de Santarém, Cartaxo, e a Sul confina com os concelhos de Salvaterra de Magos e Coruche. É constituído por quatro freguesias: Almeirim, Benfica do Ribatejo, Fazendas de Almeirim e Raposa.

O concelho de Alpiarça situa-se a Norte e Oeste do município de Almeirim, a Este do Rio Tejo que o separa em toda a sua extensão do município de Santarém e a Sul e a Oeste do município da Chamusca. É constituído por uma freguesia: Alpiarça.

O concelho de Chamusca confina a Norte com os concelhos de Vila Nova da Barquinha e Constância, a Este por este último, Abrantes e Ponte de Sôr, a Sul pelo concelho de Coruche e a Oeste pelos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Golegã. É constituído por sete freguesias: Carregueira, Chamusca, Chouto, Parreira, Pinheiro Grande, Ulme e Vale de Cavalos. O rio Tejo limita o concelho a N e a NW, constituindo uma fronteira natural de aproximadamente 31 km.

Os três concelhos completam uma extensão de cerca de 1063 km2, respectivamente, 222 km2 para Almeirim, 95 km2 para Alpiarça e Chamusca 746 km2.

No Quadro 1 é apresentada a extensão de cada freguesia, em cada concelho.

Quadro 1 – Área das Freguesias dos Concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca

Concelho	Freguesia	Extensão (km^2)
Almeirim	Almeirim	68,87
	Benfica do Ribatejo	29,20
	Fazendas de Almeirim	59,11
	Raposa	65,08
Alpiarça	Alpiarça	95,00
Chamusca	Carregueira	98,81
	Chamusca	35,30
	Chouto	205,30
	Parreira	133,44
	Pinheiro Grande	32,16
	Ulme	121,85
	Vale de Cavalos	118,91

Fonte: Censos 2011

2.2. TOPOGRAFIA E OCUPAÇÃO CULTURAL

A morfologia dos concelhos pode ser caracterizada, em termos muito gerais, pela existência de duas áreas distintas:

- A zona de planície, lezíria ou campo, situada ao longo da margem esquerda do Tejo e correspondente à planície aluvial deste rio;
- A zona de charneca, uma região fundamentalmente planáltica com vales encaixados das ribeiras afluentes do Tejo.

O campo é conhecido pela sua superfície regular, estando a sua formação relacionada com o alargamento do leito do rio nesta zona (após atravessar uma zona relativamente estreita entre o Arripiado e Constância), com a consequente diminuição da velocidade do escoamento, aumento da deposição de sedimentos e assoreamento. O assoreamento é, aliás, responsável pelas poucas irregularidades no relevo que existem no campo, podendo dar origem a formações como os terraços que aparecem entre a Chamusca e o Arripiado.

A charneca apresenta-se como uma região planáltica bem definida com recortes marcados pelos vales dos afluentes do Tejo. A altitude varia entre os 50 e os 200 m. No entanto, a região planáltica mais importante desenvolve-se entre os 160 e os 180 m. Os vales encontram-se quase sempre bem desenvolvidos (com vertentes vigorosas), possuindo geralmente o fundo plano e uma largura que por vezes excede 500 metros (por ex. ribeiras de Chouto e Muge).

No Quadro 2 distingue-se a distribuição das espécies florestais, a nível dos três concelhos, onde se verifica que a área florestal do concelho da Chamusca representa 77.80% da área total do concelho. É composta essencialmente por sobreiro, eucalipto e pinheiro bravo, ocorrendo quer em povoamentos puros, quer em povoamentos mistos (Anexo I – Figuras 2 e 3).

A espécie com maior representatividade neste concelho é o sobreiro correspondendo a uma área de 30767.37 ha, 53.03% da área florestal total. A segunda espécie com maior representação é o eucalipto com 21437.12 ha de povoamentos puros e mistos, os quais representam 36.95% da área florestal total. Os povoamentos puros e mistos de pinheiro bravo correspondem a 3049.90 ha, 5.26 % da área florestal total.

Os concelhos de Almeirim e Alpiarça têm uma área florestal de respectivamente, 7940 ha e 1978 ha. O sobreiro é a espécie mais representativa em Alpiarça, com 48% da área florestal do

concelho, sendo que em Almeirim apesar de não ser a espécie mais representativa ainda assim representa 43% da área florestal.

O eucalipto é a espécie mais representativa em Almeirim com 3465.31 ha (44%) e em Alpiarça com 582.31 ha.

Os povoamentos de pinheiro bravo no concelho de Alpiarça com 309.28 ha, e no concelho de Almeirim com 732.02, representam 9% da área florestal.

Quadro 2 – Distribuição das Espécies Florestais por concelho em hectares

Espécies/Concelho	Chamusca	Almeirim	Alpiarça
Eucalipto	21 437,12	3 465,31	582,31
Pinheiro Bravo	3 049,90	732,02	309,28
Pinheiro Manso	1 422,28	135,62	0,68
Sobreiro	30 767,37	3 442,21	949,75
Outras Folhosas	1 325,78	165,15	131,78
Outras Resinosas	17,08	0,00	4,64
TOTAL	**58019,53**	**7940,31**	**1978,44**

A área florestal em cada freguesia dos três concelhos está representada no Quadro n.º 3.

Quadro 3 – Área Florestal por Freguesia

Concelho	Freguesia	Área Florestal	
		(ha)	%
Almeirim	Almeirim	770,76	11,17
	Benfica do Ribatejo	53,62	1,83
	Fazendas de Almeirim	2149,88	37,71
	Raposa	4966,05	76,27
	Total	7940,31	36,03

Alpiarça	Alpiarça	1978,45	21,39
Chamusca	Carregueira	6591,17	70,28
	Chamusca	1023,26	29,11
	Chouto	17659,47	85,81
	Parreira	11151,93	84,08
	Pinheiro Grande	2668,77	72,19
	Ulme	10183,92	83,66
	Vale de Cavalos	8732,72	72,75
	Total	58011,22	77,75
TOTAL		**67929,98**	**64,15**

Pela análise do quadro anterior, verifica-se no concelho de Almeirim que a freguesia de Raposa é a que possui maior área florestal, cerca de 76%, seguindo-se a freguesia de Fazendas de Almeirim com sensivelmente 38%. Em Alpiarça cerca de 21% da freguesia é constituída por espécies florestais, sendo a mais representativa o sobreiro.

A nível do concelho de Chamusca, a freguesia que possui maior área florestal é a do Chouto com 17659.47 ha de floresta que corresponde a 85,81% da freguesia, seguindo-se a freguesia de Parreira com 11151.93 ha e de Ulme com 10183.92 ha.

A freguesia que apresenta menor área florestal é a de Chamusca, por um lado devido ao facto de apresentar uma área territorial menor, comparativamente às outras freguesias do concelho, e por outro, por ser a sede de concelho constituída por uma zona mais habitacional.

2.3. ESTRUTURA FUNDIÁRIA

A caracterização da estrutura fundiária baseou-se em dados publicados e por consulta direta das secções cadastrais no I.P.C.C. de Santarém (plantas cadastrais dos concelhos de Chamusca, Almeirim e Alpiarça elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cadastral).

A análise a nível do concelho revela uma elevada concentração da área das propriedades e a existência de um grande número de agricultores com áreas muito pequenas. Os resultados mostram, por exemplo, que cerca de 90% dos agricultores possuem menos de 20% da área total. A maioria destes tem propriedades com dimensão inferior a 5 ha, representando menos de 3% da área do concelho. Do outro lado do espectro, situam-se 10% dos proprietários com 97.6% da área do concelho (71960 ha). Os proprietários com áreas superiores a 500 ha (2% em número) correspondem a 72% da superfície.

Quadro 4 – Distribuição dos proprietários em função da classe de área, no Concelho da Chamusca

Classes de área	Proprietários		Superfície		Área Média	Nº Prédios	
ha	nº	%	ha	%	ha	Total	Média por proprietário
< 0.5	947	41.87	193.95	0.26	0.20	1082.0	1.14
0.5 a 1	349	15.43	248.82	0.34	0.71	575.0	1.65
1 a 5	589	26.04	1286.04	1.75	2.18	1660.0	2.82
5 a 10	116	5.13	823.07	1.12	7.10	580.0	5.00
10 a 50	127	5.61	2582.49	3.50	20.33	648.0	5.10
50 a 100	33	1.46	2353.71	3.19	71.32	116.0	3.52
100 a 500	61	2.70	12782.81	17.35	209.55	149.0	2.44
500 a 1000	23	1.02	15964.64	21.67	694.11	129.0	5.61
> 1000	17	0.75	37452.16	50.83	2203.07	103.0	6.06
Total	**2262**	**100.00**	**73687.69**	**100.00**	**32.58**	**5042.0**	**2.23**

Fonte: IPCC, Cadastro.

3. BIOMASSA – CONCEITOS GERAIS

O conceito de "biomassa" está mencionado na Directiva 2001/77/EC como a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

Neste âmbito, a biomassa pode ser dividida em quatro grupos, consoante a sua origem:

- ✓ Biomassa florestal residual;
- ✓ Agrícola e agro-industrial;
- ✓ Biomassa oriunda de resíduos;
- ✓ A instalação de culturas energéticas dedicadas.

De acordo com o Decreto-Lei nº 5/2011, de 10 de Janeiro, entende-se por biomassa florestal a fracção biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da floresta ou de outras plantações.

Biomassa florestal residual (BFR): fracção biodegradável dos desperdícios das operações de condução e exploração florestal, designadamente, cortes finais, desbastes, selecção de varas, podas, etc. A repartição dos componentes que integram a biomassa florestal residual encontra-se na Figura 2.

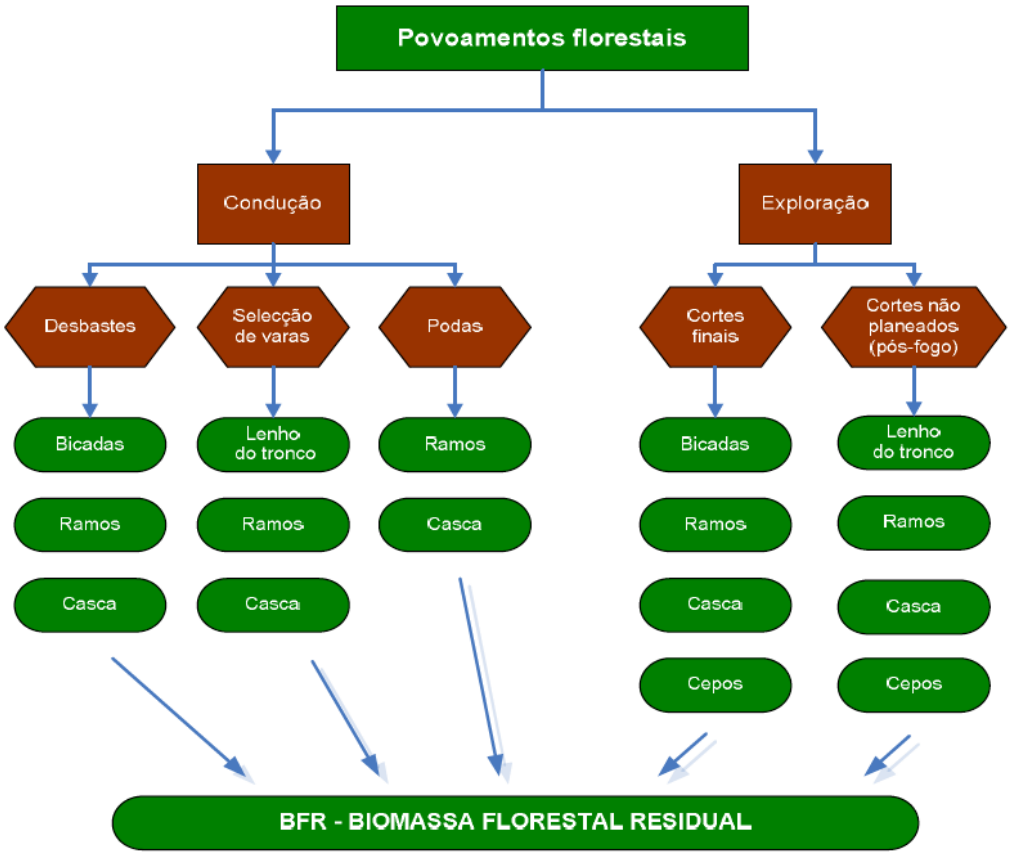

Figura 2 – Repartição da Biomassa Florestal Residual por componentes

Culturas florestais energéticas (CFE): cultura florestais de rápido crescimento, cuja produção e respectiva silvicultura prevê rotações inferiores ou iguais a seis anos e a transformação industrial é dedicada à produção de energia eléctrica ou térmica. Embora em Portugal, as culturas florestais energéticas apenas tenham sido testadas nível experimental em áreas de dimensão reduzida, em vários países europeus (Espanha, Itália, etc.), na última década têm sido plantadas espécies florestais com esse objetivo em larga escala. As espécies utilizadas com maior frequência são as seguintes:

- ✓ Choupo (*Populus sp.*),
- ✓ Eucalipto (*Eucalyptus sp.*),
- ✓ Paulonia (*Paulownia tomentosa*),
- ✓ Salgueiro (*Salix sp.*),
- ✓ Acácia (*Acácia sp.).*

A biomassa agrícola inclui os produtos e resíduos da actividade agrícola (cereais, forragens, produtos amiláceos, oleaginosas, produtos fibrosos e lenhoso, efluentes da pecuária, etc.) que podem ser convertidos por diversos processos (fermentação, gaseificação, combustão) em: combustíveis, tais como etanol, biodiesel, hidrogénio; energia eléctrica e calorífica; e diversos materiais, como sejam plásticos, adesivos, tintas, detergentes, produtos farmacêuticos, algodão e linho.

4. SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL

Um sistema de exploração de biomassa pode ser entendido como um conjunto de operações florestais desenvolvidas com o objectivo final de abastecer uma unidade transformadora de energia. Trata-se, portanto, de uma cadeia de abastecimento e pode ser dividida em duas componentes principais: a produção da biomassa florestal e a logística do abastecimento. Neste capítulo, para além de serem abordadas essas duas componentes, é incluída ainda uma breve revisão sobre as tecnologias de conversão de biomassa florestal em energia.

Dos vários tipos de biomassa identificados no Capítulo 3, aquela que se encontra mais consolidada em termos de exploração e mercado é a biomassa florestal residual. A biomassa agrícola tem tido apenas utilizações pontuais para produção de energia e para a biomassa proveniente de culturas energéticas, existem várias parcelas experimentais no nosso país, nomeadamente com choupo, eucalipto, etc., mas ainda sem utilização industrial ou doméstico.

4.1. BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL

A biomassa florestal residual será, numa primeira fase, o maior abastecedor de um sistema municipal e, por isso, haverá uma descrição mais pormenorizada do sistema de exploração, das quantidades disponíveis na área de estudo e uma avaliação do custo das várias operações da cadeia de abastecimento.

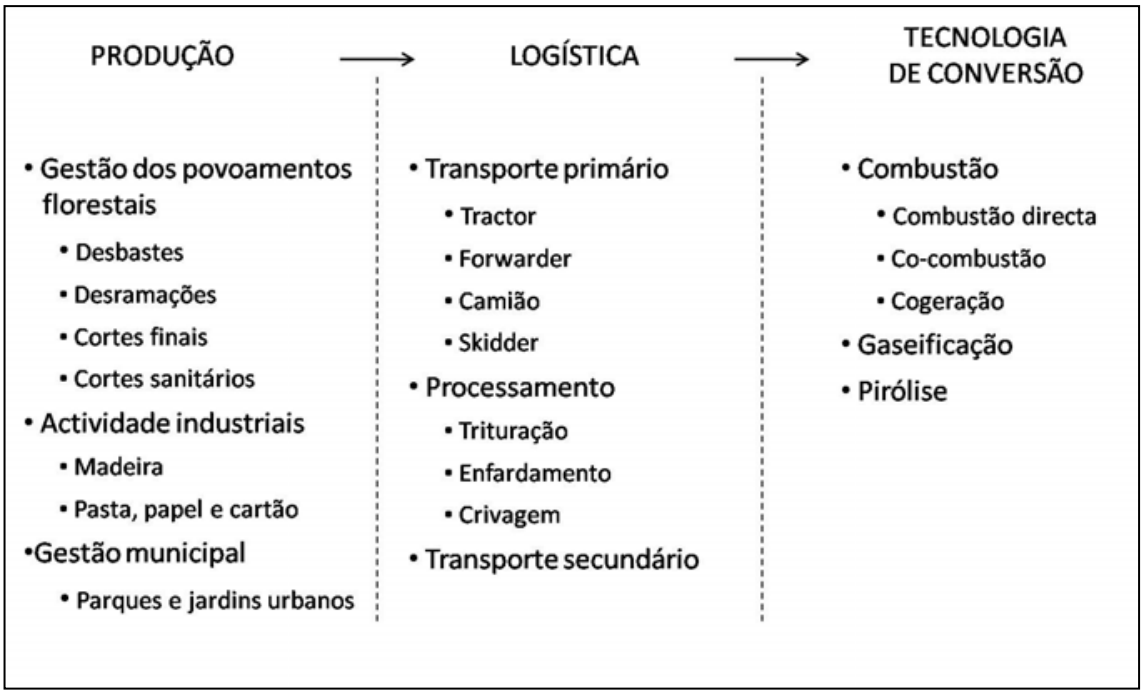

Figura 3 – Esquema geral dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual

4.1.1. Produção

A biomassa florestal residual (BFR) é um subproduto de actividades realizadas com a finalidade de obter um produto principal e, como tal, pode ter diversas origens. O maior contributo para a produção de BFR provém da gestão dos povoamentos florestais, centrada na produção de madeira para um conjunto de fins: aglomerados, serração, postes ou folheados. Existem, no entanto, outras actividades que produzem BFR e que é necessário considerar. A BFR pode ser originada no decurso das actividades a seguir descritas:

4.1.1.1. Gestão dos povoamentos florestais

Desbastes: o desbaste é uma operação silvícola que consiste na remoção selectiva de árvores e que tem como objectivo reduzir a competição entre as árvores, eliminar árvores doentes, seleccionar as melhores árvores para aumentar o rendimento do povoamento e antecipar rendimentos através da venda do material removido (FPFP, s/d). É uma operação realizada, por exemplo, para povoamentos de pinheiro e montado. Para um mesmo povoamento, é habitual realizarem-se três a quatro

desbastes, dependendo do ano do corte final. A produção de BFR nesta operação varia quantitativamente consoante o ano de desbaste e o número de árvore removidas. O material removido num primeiro desbaste pode ser totalmente utilizado como BFR, caso as árvores removidas sejam muito jovens para poder ter outro uso. Assim, nos primeiros desbastes é frequente fazer-se uma extracção da árvore inteira para triturar e permite obter estilha de melhor qualidade devido à maior proporção de fuste em relação à copa (Hakkila, 2004). Nos desbastes mais tardios faz-se a separação da rolaria e da BFR, que consiste nos ramos e bicadas. A produção de BFR nestes desbastes variará em função do diâmetro mínimo de corte, geralmente 7 cm, e da forma do fuste, pois se não for suficientemente direito para o seu uso principal pode ser integrado no lote da BFR. Hakkila (2004) sugere, no entanto, que, devido ao facto de a estilha produzida ser de baixa qualidade e por razões de reposição dos níveis de fertilidade no solo, a BFR deve ser deixada no local. A produção pode oscilar consoante os preços praticados no mercado. Por exemplo, actualmente a madeira de pinheiro manso é pouco valorizada para serração, sendo comercializada como BFR (Igreja, 2007).

Desramações: a desramação tem como objectivo melhorar a qualidade do fuste, permitindo uma configuração direita e sem nós (FPFP, s/d; Sims, 2002). A desramação dos pinheiros é feita quando o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores se situa entre os 10-15 cm e, portanto, só é realizada nos primeiros anos de exploração de um povoamento. Esta operação produz pouca estilha e de baixa qualidade, não sendo aconselhável retirar o material. No entanto, a desramação pode ser executada em simultâneo com um desbaste, permitindo assim que a recolha da BFR seja mais eficiente.

Figura 4 – Desbastes e desramações em pinheiro manso (esq.) e pinheiro bravo (dir.)

Corte final: o corte final, também designado por corte raso ou de realização, consiste no corte de todas as árvores de um povoamento para posterior processamento e comercialização. As árvores são abatidas, desramadas, descascadas e toradas. Depois de transportada a madeira, pode entrar em funcionamento um sistema de exploração de BFR que consiste na recolha dos resíduos deixados pela operação anterior. A BFR, nesta operação, integra a biomassa da copa, a casca e os cepos, procedendo-se à limpeza do local e permitindo nova plantação. A remoção dos cepos é uma operação particularmente complexa, pois implica maquinaria específica para o seu arranque (por exemplo, giratórias) e, depois de triturados os cepos, a estilha precisa de passar por uma operação de crivagem para remover os contaminantes (pedras, areia, etc.).

Cortes sanitários: quando se procede à prevenção e controlo de pragas florestais, é possível que se tenha que proceder ao corte raso de áreas consideráveis para evitar a propagação das doenças ou controlar infestantes (por exemplo, a acácia). Um caso exemplar é o do controlo do nemátodo do pinheiro e que obriga, anualmente, ao corte raso dos povoamentos de pinheiro bravo inseridos na zona afectada. Num contexto mais amplo, pode-se considerar também a limpeza de áreas percorridas por incêndios. Contudo, e dada a exposição do solo nu aos elementos naturais que promovem a erosão, é necessário deixar toda ou parte da biomassa no solo para evitar a sua perda.

4.1.1.2. Actividades industriais

Indústria Transformadora de Madeira: as indústrias que utilizam e transformam a madeira, tais como serrações ou fábricas de folheados, produzem resíduos (serrim, cavacas, aparas, etc.) que podem ser aproveitados para a produção de energia. No entanto, a sua utilização está limitada apenas a madeira que ainda não foi tratada. A ADENE & INETI (2001) estimou uma produção a nível nacional de 200 mil toneladas secas provenientes da indústria transformadora de madeira.

Indústrias de Pasta, de Papel e Cartão: as indústrias de produção de pasta e papel têm uma longa tradição no aproveitamento de BFR para fins energéticos. Um subproduto dos processos utilizados na produção de pasta e papel, o licor negro, passa de resíduo a matéria-prima através da sua combustão, gaseificação ou pirólise para produzir parte do calor necessário para os processos industriais da própria fábrica. Com este aproveitamento já consolidado, é pouco provável que este a biomassa proveniente destas unidades industriais venha a ter como destino a utilização energética em edifícios públicos.

4.1.1.3. Gestão Municipal

Gestão de parques e jardins urbanos: os parques e jardins públicos podem contribuir com BFR através das operações de limpeza e desramações. Caso se proceda à recolha de resíduos verdes, o que inclui a produção de resíduos das famílias, as autarquias podem considerar a combustão desses resíduos num em caldeiras a biomassa para aquecimento de edifícios públicos.

4.1.2. Logística

4.1.2.1. Transporte primário

A operação de transporte por caminho florestal do local de abate para o carregadouro designa-se por transporte primário, também referida como extracção ou rechega. Esta operação pode ser efectuada por um tractor agrícola ou florestal, por um *forwarder*

(Figura 5) ou por camião. Os forwarders são as máquinas que apresentam maior produtividade e eficiência (CBE, 2004; VTT, 2001), embora as restantes opções possuam flexibilidade para fazer outro tipo de trabalhos. Existem ainda situações menos comuns como a utilização de tractores ou forwarders equipados com uma grua hidráulica, ou de máquinas especializadas (*skidders*), que arrastam um conjunto de árvores inteiras ou troncos até ao carregadouro (Figura 5). Outra opção para locais com declive acentuado é a utilização de um cabo-grua para extrair rolaria.

Figura 5 - *Skidder* de cabo (esq.) e *forwarder* (dir.) (RE Consulting, 2007)

4.1.2.2. Processamento

Considerando os sistemas de exploração de BFR desde o abate, existem operações, tais como a desrama, o descasque ou a toragem, que são realizadas com o objectivo de comercializar a rolaria. Estas operações, embora façam parte dos sistemas de exploração de BFR na sua fase inicial, não vão ser aqui consideradas por não serem específicas desses sistemas. Assim, as operações de processamento realizadas especificamente para o aproveitamento de biomassa para energia são a trituração, a crivagem e o enfardamento.

<u>Trituração</u>

O processo de trituração assume uma importância fulcral no aproveitamento de biomassa pois permite que o manuseio, transporte e conversão para energia sejam

realizados do modo mais eficiente. A trituração é um processo pelo qual a BFR é transformada em partículas de menores dimensões e a que geralmente se designa de estilha. No entanto, nalguns países existe a distinção entre estilha com partículas de dimensões entre 5-50 mm (*wood chips*) e com partículas de dimensões entre 50- -150 mm (*chunkwood*) (CEN, 2003).

A operação de trituração é constituída pela alimentação e pela trituração efectiva do material. A alimentação dos trituradores pode ser feita com uma grua integrada na máquina ou numa máquina separada. A vantagem de ter uma grua separada é a de poder recolher biomassa de locais mais afastados em relação ao triturador, embora tenha como inconveniente necessitar de duas máquinas e mais operadores (Spinelli & Hartsough, 2001).

Figura 6 - Triturador alimentado por uma máquina separada (grua)

Os trituradores podem variar quanto à mobilidade, sendo que uns podem ser rebocados por tractores ou forwarders e processar o material no terreno, e outros são deslocados para o carregadouro e aí funcionam com mobilidade reduzida. Os trituradores móveis têm que ser mais leves e versáteis para poderem ter mobilidade no terreno e ser rebocados por uma máquina. A sua potência está também limitada pela potência da tomada de força, caso não tenha motor próprio. Os trituradores móveis têm, por um lado, vantagens ao triturar e transportar um resíduo de maior

densidade com uma só máquina; por outro lado, têm a desvantagem de obter menor produtividade na operação de trituração propriamente dita e de apenas ser praticável em terrenos relativamente planos (Hakkila, 2004).

As máquinas de trituração podem ser divididas, quanto ao modo de funcionamento, em dois tipos, a seguir apresentados:

Trituradores de facas: as máquinas de triturar que usam facas produzem uma estilha com partículas de dimensões regulares entre 5-50 mm (*wood chips*) (Figura 7). Os trituradores podem ser de disco ou de tambor (Figura 8). Nos trituradores de disco, a BFR entra pela abertura de alimentação a um ângulo de 45o em relação ao disco. O disco é uma peça rotativa que contém entre 2 a 4 facas dispostas radialmente e que cortam a biomassa por pressão no batente. As dimensões das partículas podem ser controladas pelo ajuste das posições relativas das facas e do batente. As trituradoras de tambor funcionam através da alimentação horizontal de um cilindro que tem 2 a 4 buracos longitudinais onde se instalam as facas, sendo as dimensões do produto final controladas do mesmo modo que as trituradoras de disco. Os trituradores de disco, comparados com as de tambor, produzem estilha de pior qualidade quando o material original tem ramos pequenos e flexíveis (Spinelli & Hartsough, 2001).

Figura 7 - Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas

Os trituradores de facas, para além de produzir estilha de elevada qualidade, têm a vantagem de permitir que a estilha seja projectada para um reboque ou contentor. No entanto, são mais adequados para processar rolaria de baixa qualidade ou árvores

inteiras porque é um material praticamente livre de contaminantes, os quais causam um grande desgaste nas facas (MacDonald, 2007; Simões, 1999).

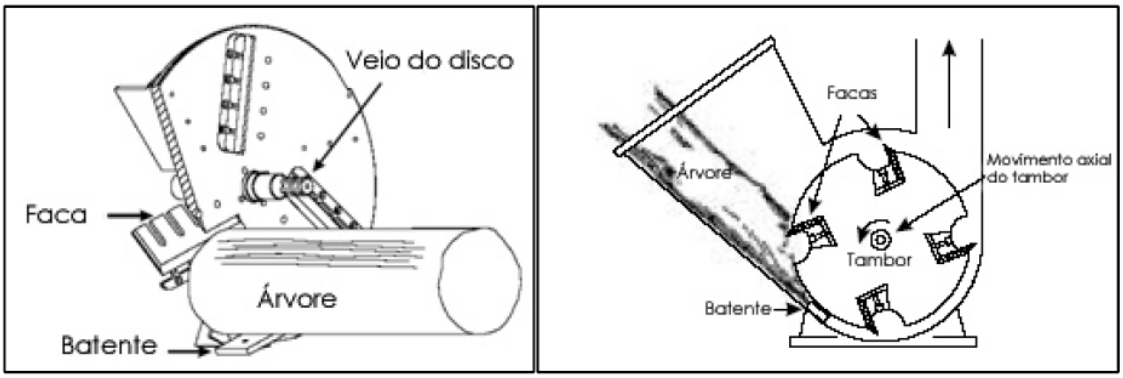

Figura 8 - Esquema de funcionamento dos trituradores de facas de disco (esq) e de tambor (dir.)

Trituradores de martelos: os trituradores ou destroçadores de martelos são máquinas que partem a biomassa através do impacto causado pelos martelos de um tambor rotativo. A estilha produzida é mais heterogénea do que a produzida pelos trituradores de facas e designa-se por *hog fuel* (Figura 9). As dimensões da estilha são controladas pelo crivo, pela forma e número de martelos, pelo espaço livre entre estes e o crivo, e também pela velocidade do rotor (Simões, 1999). Os martelos podem ser livres ou fixos e, sendo peças mais robustas, podem processar material com contaminantes (Figura 10).

Figura 9 - Estilha resultante de uma trituração com martelos (Fonte: www.bmandm.com)

A alimentação destas máquinas em relação ao tambor pode ser feita frontalmente (*horizontal grinders*) ou por cima (*tub grinders*). As máquinas que são alimentadas pelo topo são pouco adequadas ao processamento de BFR que possa conter rolaria devido

à reduzida largura da entrada de alimentação (MacDonald, 2007). A maioria dos trituradores de martelos faz a descarga da estilha através de um tapete, não permitindo fazer o carregamento de camião se o espaço for reduzido (RE Consulting, 2007).

Figura 10 - Triturador de martelos fixos (esq.) e triturador de martelos livres (dir.)

(Fonte:www.gemacosales.com)

Para além destes dois tipos de trituradores, existem ainda destroçadores de parafuso sem fim (tappered screw) e de disco enrolado em espiral, que produzem uma estilha com partículas de dimensões entre 50-250 mm (Simões, 1999). No entanto, pelo tipo de estilha produzida, não são comuns nos sistemas de exploração de BFR.

Crivagem

A crivagem é uma operação utilizada após a trituração para remover contaminantes, como pedras e areia. Geralmente é uma operação que se realiza apenas após a trituração de cepos devido à elevada contaminação deste tipo de material. O funcionamento consiste na introdução de material previamente triturado num primeiro crivo vibratório que separa a fracção grosseira da restante. O material que passa o primeiro crivo cai para um outro crivo mais apertado onde é feita a separação entre a estilha aceitável e os finos (Figura 11). A estilha que se recolhe desta operação é composta por partículas de grandes dimensões e irregulares porque a primeira trituração é feita com um crivo relativamente largo para não causar muito desgaste

nas peças. É, portanto, necessário proceder a uma segunda trituração para obter uma estilha de qualidade aceitável.

Figura 11 - Crivagem de estilha proveniente da trituração de cepos. A pilha de estilha (dir.) deverá passar por nova trituração para obter uma estilha de melhor qualidade

Enfardamento

A BFR tem uma densidade bastante baixa, trazendo produtividades e custos mais elevados. Com o objectivo de aumentar a densidade da BFR, o enfardamento é um processo pelo qual a biomassa é comprimida e cortada em fardos cilíndricos de 70 cm de diâmetro e comprimento variável entre 2,5-3,2 m (Hakkila, 2004) (Figura 12). O peso médio dos fardos é cerca de 500 kg para humidade próxima dos 50% (Hakkila, 2004; Johansson et al, 2006). A vantagem deste processo não se restringe só ao aumento da densidade da BFR, mas também a melhorias no manuseio, no acondicionamento e no armazenamento (Hakkila, 2004). Este processo necessita, contudo, de um período de teste para desenvolver máquinas mais produtivas (Karha & Vartiamaki, 2006).

Figura 12 - Máquina para de produção de fardos (RS2000) montada num forwarder

(Fonte: Hakkila, 2004)

4.1.2.3. Transporte secundário

O transporte secundário refere-se ao transporte de BFR que é feito desde o carregadouro até um terminal ou unidade consumidora. O transporte secundário por estrada pode ser feito por tractor com reboque ou camião. O tractor, devido à sua reduzida velocidade e carga, é apenas utilizado para trajectos curtos, no máximo até 10 km de distância. Para distâncias superiores, que podem chegar a ultrapassar os 100 km, o meio de transporte usado é o camião. O volume dos camiões está normalmente situado entre 70-90 m3, o que permite transportar entre 16-26 toneladas de BFR dependendo do acondicionamento e da humidade. Uma operação fundamental no transporte secundário é a carga e descarga de BFR. Alguns camiões possuem grua hidráulica, permitindo estar independentes de uma outra máquina para carregar; outros, de maior volume, têm que ser carregados directamente a partir do triturador ou através de uma máquina com grua. Quanto à descarga, os camiões que não têm báscula nem chão rotativo, têm que fazer a descarga com recurso a outra maquinaria. Embora não seja comum em Portugal, em certos casos o transporte é feito com um porta-contentores (Figura 13), que vai recolhendo os contentores deixados à beira da estrada à medida que o triturador os vai enchendo de estilha. Este sistema permite uma maior autonomia entre as máquinas, evitando tempos de espera, embora requeira algum investimento e espaço disponível.

O transporte ferroviário é uma opção para transporte de grande distância, mas requer um fluxo relativamente elevado e contínuo de BFR. Em Portugal, o transporte ferroviário não tem grandes oportunidades dado que as distâncias de abastecimento são facilmente cobertas por estrada e a rede ferroviária actualmente não tem estrutura para poder fazer este tipo de transporte (Fernandes, 2007). Num contexto de mercado internacional, é possível transportar BFR por via marítima. De facto, Portugal tem vindo a exportar BFR a partir dos portos de Aveiro e Sines, através de navios com capacidades para 5 000 - 6 000 toneladas de BFR, tendo como destino principal a Itália (Andrade, 2007).

Figura 13 - Descarga de estilha de um contentor em camião com báscula

(Fonte: Rummer, 2005a)

Há a considerar dois aspectos fundamentais nesta fase do sistema de exploração. Sendo esta a última operação antes de entregar a BFR à porta da unidade transformadora, é importante considerar a humidade e os contaminantes do produto transportado. Em relação à humidade, existe a vantagem de deixar a BFR secar no carregadouro para obter um melhor preço no momento de venda. Geralmente, a BFR é deixada a secar naturalmente, se as condições meteorológicas o permitirem, sendo posteriormente triturada e transportada até à central. Outra possibilidade consiste em deixar a BFR previamente triturada a secar, embora possam existir problemas de fermentação na pilha devido ao aquecimento excessivo.

O segundo aspecto a considerar prende-se com a quantidade de contaminantes que é transportada e que consiste, principalmente, em pedras e areia. O problema é particularmente importante na comercialização de estilha de cepos. A BFR é também contaminada nas operações de carga e descarga, sendo preferível fazer o carregamento da estilha directamente do triturador para o camião, se tal for possível. A questão dos contaminantes é relevante porque as unidades transformadoras relacionam o preço oferecido com o grau de contaminação, pois os inertes causam problemas operacionais nas caldeiras.

4.1.3. Sistemas de exploração

Os sistemas de exploração de BFR podem variar na sua essência e excluindo a diferente maquinaria que pode ser usada, mediante o local onde é feita a trituração e tipo de BFR. Mitchell et al (1990, citado por Simões, 1999, p. 7) faz a classificação em sistemas de exploração de resíduos florestais e sistemas de exploração de árvore inteira. Como o próprio nome indica, este sistema aproveita toda a árvore para triturar, enquanto que o primeiro procede ao processamento (desramação e descasque) da árvore e posteriormente tritura os ramos e bicadas. A classificação quanto ao local de trituração inclui quatro sistemas distintos (Hakkila, 2004):

4.1.3.1. Trituração no carregadouro

Este sistema é o mais comum dos sistemas de exploração de BFR. Consiste, numa primeira fase, no transporte da BFR até um local, designado por carregadouro, fora do povoamento e com acesso por um caminho florestal, onde a BFR por triturar é colocada em pilhas de 4-5 m de altura. Aí, dado o espaço disponível, é possível alimentar um triturador robusto que pode ou carregar directamente um camião (Figura 14) ou fazer uma pilha de estilha que será posteriormente carregada. Trata-se de um sistema em que existe bastante dependência entre as máquinas, dado que tanto o triturador como o camião podem ter tempos de espera significativos. Uma variante deste sistema é uma em que se vão fazendo pilhas de BFR não triturada à beira da estrada e em que o triturador tem mobilidade para ir percorrendo a estrada e

ir enchendo contentores com estilha. Numa fase seguinte, quando os contentores estão cheios, um porta-contentores transporta a estilha para a unidade consumidora. Este sistema permite que as máquinas actuem independentemente e se reduzam os tempos de espera, embora a utilização de contentores seja pouco frequente.

Figura 14 - Trituração de BFR no carregadouro: a estilha é projectada directamente para o camião

4.1.3.2. Trituração no terreno

Este sistema consiste na trituração da BFR dentro do povoamento. Necessita de um triturador móvel e leve, sendo por isso pouco produtivo. O triturador é rebocado por um tractor ou *forwarder* (Figura 15). Um funcionamento possível é a abertura de caminhos num povoamento para o triturador poder circular, recolher e triturar árvores inteiras abatidas com um *feller-buncher*. Quando o contentor, com capacidade para 3-5 toneladas, estiver cheio, o triturador descarrega no carregadouro onde faz uma pilha ou directamente para um camião ou contentor. A vantagem deste sistema é a de proceder a duas operações em simultâneo (trituração e transporte primário), arrefecendo o sistema, e permitir viabilizar o aproveitamento de BFR em povoamentos mais pequenos. Por outro lado, este sistema só pode ser implementado em terrenos planos, para distâncias de transporte curtas e o processo de trituração é relativamente pouco produtivo e frágil.

Figura 15 - Trituração de BFR produzida num povoamento tradicional de choupo

4.1.3.3. Trituração na unidade consumidora

No extremo oposto ao da trituração no terreno, está a trituração na unidade consumidora ou central produtora de energia. Este sistema consiste no transporte da BFR não triturada até ao local onde será convertida em energia. Tem a desvantagem clara de transportar material de baixa densidade, embora seja frequente em mercados de BFR pouco maduros onde as máquinas de trituração escasseiam. A trituração na unidade consumidora, pelo espaço disponível e suas condições, é mais eficiente do que nos outros sistemas. Neste sistema, com o objectivo de aumentar a densidade da BFR, pode ser feito o enfardamento prévio da BFR no carregadouro.

Figura 16 - Trituração no terminal: a estilha fica armazenada num local sob cobertura, permitindo uma secagem mais rápida

4.1.4. Tecnologias de conversão

Existem várias tecnologias de conversão da energia química da biomassa em calor ou energia eléctrica, como produtos finais. Sendo o contexto deste trabalho restrito à biomassa florestal, os processos biológicos de conversão, como a digestão anaeróbia, são omitidos. Podem-se, portanto, resumir a três os processos termoquímicos de conversão que estão ou estarão disponíveis num futuro próximo para a utilização à escala industrial: combustão, gaseificação e pirólise.

4.1.4.1. Combustão

A combustão consiste na oxidação total da matéria orgânica da biomassa efectuada a altas temperaturas (800-1000ºC, dependendo da humidade), utilizando o ar atmosférico, em excesso, como agente oxidante, e libertando calor, CO2, vapor de água e cinzas (Carrasco, 2001). Na realidade, o processo de combustão é constituído por uma sequência de fases (GSES & Ecofys, 2005):

- ✓ Aquecimento e secagem: fase em que o combustível é aquecido (<100ºC) e em que a água passa a vapor (100-150ºC).
- ✓ Decomposição pirolítica: trata-se da decomposição dos componentes de cadeia longa e que ocorre entre os 150-230ºC. A decomposição é pirolítica porque se dá na ausência de oxigénio.

Estas duas fases são endotérmicas. A partir dos 230ºC começam a ocorrer as reacções exotérmicas que requerem oxigénio.

- ✓ Gaseificação do combustível seco: a decomposição térmica do combustível seco sob influência do oxigénio começa perto do ponto de ignição, próximo dos 230ºC. A gaseificação ocorre principalmente na grelha de combustão até aos 500ºC.
- ✓ Gaseificação do carvão sólido: sob influência do CO2, água e oxigénio, é gerado monóxido de carbono combustível. Esta fase, que ocorre entre os 500-700ºC, liberta luz e raios de calor que tomam a forma de chama visível.

- ✓ Oxidação dos gases combustíveis: a fase final da combustão consiste na oxidação de todos os gases combustíveis resultantes dos processos anteriores e dá-se entre os 700-1400ºC. Sob influência do ar secundário, dá-se a combustão limpa e completa da mistura gasosa.

A conversão de biomassa em calor tem uma eficiência de 85-90%, enquanto que a eficiência de produção de energia eléctrica é de 17-25% (Rosillo-Calle *et al*, 2007).

Existem três factores importantes que determinam a eficiência do processo: o tempo, necessário para que as fases de aquecimento e pirólise ocorram; a temperatura, para que os processos ocorram mais rapidamente; e a turbulência, para que haja uma mistura completa dos gases combustíveis e oxigénio, assegurando uma combustão completa (Sims, 2002).

Dado que a eficiência eléctrica das centrais é muito baixa, quando comparada com a produção de energia a partir de outros combustíveis, a cogeração é uma oportunidade que consiste no aproveitamento do calor residual para o aquecimento das próprias instalações da central ou, criando uma rede de distribuição, das habitações que possam estar situadas nas redondezas. Quanto a soluções exclusivas para aquecimento, os equipamentos actuais permitem ter eficiências entre 70-90% e uma redução muito significativa das emissões, quando comparados com as lareiras tradicionais (Faaij, 2006).

A biomassa pode ser queimada conjuntamente em centrais alimentadas a carvão para obter energia eléctrica, num processo designado por co-combustão. Este processo tem os benefícios de reduzir os custos de investimento por unidade de energia produzida por se estar a utilizar uma instalação já existente, ter eficiências de produção de energia eléctrica superiores às centrais dedicadas e permitir às centrais a carvão eliminar as suas emissões de CO2, e reduzir as de NOx e SO2 (Veijonen *et al*, 2003, Rosillo-Calle *et al*, 2007). Os grandes entraves ao desenvolvimento da co-combustão são o elevado investimento inicial, o aumento dos custos de operação e a dificuldade na logística do abastecimento por se tratar de grandes quantidades de biomassa, quer se trate de uma substituição de 5% ou de 15% (Barrientos, 2007).

4.1.4.2. Gaseificação

A gaseificação é um processo de combustão incompleta, através da combustão da biomassa com quantidades de ar inferiores às do equilíbrio estequiométrico. O processo produz um gás combustível constituído por uma mistura de metano, hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono, e vapor de água, sendo que o poder calorífico do gás varia entre 4-40 MJ/m3, conforme o agente oxidante (McKendry, 2002a). O processo, apesar de ainda estar em fase pré-comercial, tem várias vantagens em relação à combustão convencional, nomeadamente no aumento da eficiência de produção de energia eléctrica, que poder ser superior a 40%, na facilidade de transporte do gás e flexibilidade na utilização em caldeiras e turbinas de gás (Rosillo-Calle et al, 2007).

4.1.4.3. Pirólise

A pirólise é o aquecimento da biomassa na ausência de oxigénio até 500ºC e que permite a extracção de produtos sólidos, líquidos e gasosos (McKendry, 2002b). A fracção líquida, denominada bio-óleo, pode ser utilizada na combustão em motores e caldeiras, e tem um poder calorífico de 20-22 MJ/l (Carrasco, 2001). Esta tecnologia está, contudo, ainda em fase de demonstração (Rosillo-Calle et al, 2007).

4.2. CULTURAS ENERGÉTICAS DEDICADAS

As culturas florestais energéticas são parte do futuro da bioenergia. O desenvolvimento da bioenergia será cada vez mais realizado através das culturas energéticas e o contributo dos resíduos florestais irá progressivamente diminuir. As culturas florestais energéticas, como o salgueiro, choupo ou eucalipto, são sistemas intensivos de produção de biomassa e caracterizados por ciclos de corte curtos, entre um a seis anos. Esses sistemas permitem, para além de uma maior mecanização das operações, uma gestão orientada para uma sustentabilidade mais facilitada e uma redução da pressão na exploração da BFR.

Apesar dos níveis de conhecimento e experiência sobre as culturas florestais energéticas estarem já numa fase bastante avançada nos países do Norte da Europa e mesmo em alguns países do Sul da Europa (ex: Itália e Espanha), existe ainda uma ausência de informação sobre a produtividade, viabilidade económica ou fertilidade do solo destes sistemas, para as condições edafo-climáticas específicas do nosso país.

Figura 17 – Parcelas com culturas florestais energéticas em Sevilha (Espanha): choupo, paulónia e eucalipto

A ACHAR implantou em 2008, em parceria com a Altri, S.A. e a Florecha, S.A., um projeto de viabilidade de culturas energéticas florestais, com a utilização de choupo em solos agrícolas de qualidade inferior, cujo objetivo geral foi tentar encontrar uma alternativa viável para os produtores agrícolas/florestais com terrenos nos vales da charneca ribatejana. Pretendeu-se atingir este objectivo com concretização dos seguintes objectivos específicos:

1. Estudar um conjunto de clones de choupo e a influência dos principais factores na produção da biomassa;
2. Avaliar a viabilidade técnico-económica das culturas florestais energéticas, considerando a sustentabilidade dos sistemas e a análise do balanço energético.

Para o efeito foram cultivados choupos clonais em diversas áreas provenientes de um viveiro italiano que, no seu conjunto, totalizaram aproximadamente 7ha, cujas densidades de plantação foram 6667 e 1667 plantas/ha, utilizando-se para o efeito estacas de 20cm e de 2m de altura, com ciclos de corte de 2 e 5 anos, respectivamente.

Figura 18 – Parcela de choupo com 6667 plantas/ha na Chamusca

Por falta de financiamento, o projeto está a decorrer com os serviços mínimos. O corte também tem sido adiado pelo mesmo motivo e por dificuldade em deslocar de Espanha um equipamento que permita fazer o corte mecanizado, com características semelhantes ao da figura seguinte:

Figura 19 – Equipamento de corte mecanizado com triturador incorporado.

Desta forma, para este projeto ainda não foi possível obter conclusões finais acerca da viabilidade das culturas energéticas (choupo) na área de estudo. Mesmo assim, nesta fase intercalar existem algumas conclusões que, pela experiência já adquirida foi possível obter:

- ✓ Por falta de mão-de-obra mecanizada em algumas operações, os custos da instalação subiram de forma significativa e consequentemente rendimentos menores;
- ✓ Quando não existe um controlo antecipado das infestantes com herbicida para reduzir, aumenta a competição com as plantas e o seu crescimento inicial fica aquém do esperado;
- ✓ Foi também possível verificar que a rega é imprescindível, uma vez que em períodos com temperaturas mais elevadas notou-se em algumas parcelas o desfolhamento de parte das plantas. A rega gota-a-gota, apesar de envolver custos de aquisição e instalação que não existem no sistema de rega por alagamento, revelou-se mais eficaz em termos de desenvolvimento das plantas sempre que aplicada em períodos regulares.

Na área de estudo existe ainda uma parcela experimental com eucalipto desenvolvida por uma empresa do sector de produção de pasta de papel, para a qual não existem resultados divulgados.

4.2.1. Áreas potenciais para culturas energéticas dedicadas

Para avaliar a área disponível para o cultivo de espécies florestais para a produção de energia apurou-se a área agrícola existente nos 3 concelhos. No total corresponde a 320000ha. Dessa área excluíram-se os terrenos localizados em terrenos da Reserva Agrícola Nacional (RAN) por se considerarem solos de melhor qualidade e, nessas áreas, o rendimento proveniente de culturas florestais energéticas não será, no contexto actual, competitivo com o das actividades agrícolas convencionais. Excluiu-se ainda toda a área que se encontra a Oeste da EN118. Esta estrada pode ser considerada o limite físico entre os terrenos de charneca a Este e os terrenos de lezíria a Oeste. Estes últimos, em virtude da elevada qualidade de solo que apresentam, encontram-se praticamente na totalidade em RAN.

Apuraram-se assim, cerca de 8330ha agrícolas susceptíveis de serem convertidos em áreas florestais ocupadas por culturas energéticas (mapa em anexo).

Na última década tem-se assistido nas áreas agrícolas de charneca dos concelhos de Almeirim e de Alpiarça a uma transformação progressiva da ocupação do solo. Vários terrenos ocupados por culturas agrícolas têm sido convertidos em áreas florestais (eucalipto, pinheiro manso e sobreiro) ou têm sido abandonadas, estando atualmente ocupadas por mato. Dessas áreas destacam-se as vinhas que em que houve um decréscimo acentuado devido aos apoios comunitários para o arranque.

Neste sentido, a opção por culturas florestais energéticas pode representar uma alternativa viável relativamente à opção por culturas florestais exploradas em modelos de silvicultura convencionais. A proximidade da cidade de Almeirim e da vila de Fazendas de Almeirim e de Alpiarça (onde estão localizados os grandes edifícios públicos) será uma vantagem pois os custos de transporte secundário serão menores. Uma das desvantagens está relacionada com o facto de serem áreas de minifúndio

(normalmente com menos de 2ha) e serem pouco rentáveis se forem exploradas individualmente.

4.3 BIOMASSA AGRÍCOLA E AGRO-INDUSTRIAL E BIOMASSA ORIUNDA DE RESÍDUOS

Para estes dois tipos de biomassa, não existem disponíveis dados pormenorizados relativamente à utilização para fins energéticos na área de estudo. Neste sentido, este trabalho incidirá sobretudo na biomassa florestal, sendo neste sub-capítulo feita uma breve abordagem à biomassa agrícola e agro-industrial e biomassa oriunda de resíduos, identificando as suas características e o seu potencial para fins energéticos nos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca.

A actividade agrícola portuguesa dispõe de variados produtos residuais que podem ser aproveitados como fonte de produção de energia. A tabela 1 mostra a energia potencial contida nos mesmos.

Tabela 1 - Energia potencial contida em resíduos agrícolas – estimativa para Portugal (MADRP, 2005)

TIPO	Energia (peta joules)	Álcool equivalente (milhões de litros)
Palha de cereal	5,4	227 270
Bagaços de azeitona	0,6	25 250
Resíduos de podas de vinha, fruteiras e oliveira	8,5	357 740
Resíduo da amêndoa e da vinificação	1,8	75 760
TOTAL	**16,3**	**686 020**

O bagaço de azeitona ou de uva e a casca de frutos secos têm sido usados para produção de calor através de queima (MADRP, 2005). No entanto, não foram encontradas referências de aproveitamento energético exclusivo de biomassa agrícola para produção de electricidade, nomeadamente bagaços de azeitona e resíduos de podas de vinha.

Para a biomassa origem agrícola, as espécies com maior representatividade na área dos três concelhos e que podem gerar quantidades de biomassa significativas

susceptíveis gerar valor acrescentado para aproveitamento energético em alternativa às utilizações actuais são as seguintes:

- ✓ Milho (restolho);
- ✓ Vinha (sobrantes das podas e bagaço de uva);
- ✓ Olival (sobrantes das podas e caroço de azeitona).

O processo de valorização energética consiste normalmente na combustão dos resíduos sólidos em instalações especialmente preparadas, dimensionadas e monitorizadas para o efeito.

A incineração de RSU abrange uma grande variedade de soluções que, salvo algumas excepções, se caracteriza pela queima de resíduos indiferenciados e muito húmidos. São processos controlados e automatizados que, para além de tratar os resíduos indiferenciados termicamente, possibilitam a produção de energia eléctrica (onde a electricidade produzida é direccionada para a rede de distribuição pública). Este género de instalações dispõe de câmaras de combustão e integram exigentes sistemas de antipoluição e tratamento de gases de combustão. Aproveita-se o vapor produzido para produzir energia eléctrica que é injectada na rede pública. Estas unidades, além de possuírem sistemas integrados para controlo de toda a operação, dispõem de um conjunto de equipamentos de alta sensibilidade para controlo e avaliação do cumprimento dos exigentes programas de monitorização ambiental, na unidade e na unidade envolvente da instalação. São investimentos avultados, que consomem muita energia, com elevados custos de manutenção e, portanto, apenas passíveis de serem instalados em regiões de grande produção de resíduos (por ex. áreas metropolitanas de Lisboa e Porto).

A área de estudo não é uma região com produção de resíduos em larga escala e a instalação de um equipamento dessa natureza não seria rentável.

Existem dois centros de tratamento e deposição de resíduos sólidos urbanos (aterros sanitários) na área de estudo, bem como outros centros de valorização de resíduos industriais banais e perigosos, cujo potencial para o aproveitamento energético local não será objeto de estudo deste trabalho.

5. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE BIOMASSA

De acordo com o referido no início do capítulo anterior, a biomassa florestal residual será aquela para os quais tem uma cadeia de fornecimento mais experimentada no nosso país e mais concretamente na área dos três concelhos de estudo. Desta forma, foi aquela em que foi possível estimar as quantidades disponíveis. Serão também apresentadas algumas estimativas de produção para as culturas energéticas dedicadas com base em resultados obtidos noutros países onde têm sido plantadas áreas extensas na última década.

A avaliação da biomassa florestal residual (BFR) tem vindo a assumir uma preponderância crescente desde que se deixou de a considerar como um resíduo e se passou a encará-la como um recurso energético. Enquanto tal, a quantificação da BFR é relevante por diversas razões. Em primeiro lugar, e mais claramente, é crucial na implementação de projectos que a utilizem como matéria-prima, como projectos de centrais termoeléctricas a BFR, fábricas de produção de *pellets* e em sistemas de aquecimento em edifícios, pelo que é imperativo dispor de informação rigorosa sobre a BFR no que respeita à sua quantidade, distribuição, variabilidade sazonal e características. Projectos desta natureza requerem investimentos avultados e, como tal, é necessário decidir o dimensionamento, a tecnologia de conversão e planos de exploração adequados ao fluxo e características da BFR. A outra escala, este tipo de estudos assiste no delineamento das políticas energéticas, permitindo definir instrumentos de incentivo à sua utilização atendendo a um conjuntos de metas que se pretendem alcançar, tais como a contribuição das energias renováveis na produção de energia primária ou na redução da emissão de gases de efeito estufa.

5.1. BARREIRAS TÉCNICAS, LEGAIS E ECONÓMICAS: BIOMASSA POTENCIAL E BIOMASSA REAL OU DISPONÍVEL

O potencial de BFR pode ser subdividido em várias categorias em função das restrições que se considerem na sua exploração (Sims, 2002). O potencial técnico refere-se ao total de BFR que pode ser produzido em podas, desbastes e cortes finais. Note-se que

o termo “técnico" refere-se estritamente a um potencial físico e não inclui restrições de ordem tecnológica, como por exemplo a extracção de BFR de locais inacessíveis.

O potencial económico define-se como a quantidade de BFR que é economicamente viável explorar. Este potencial considera um conjunto de factores que limitam a explorabilidade da BFR: a distância de transporte, o declive do terreno ou a humidade da BFR; em suma, todos os factores que influenciam o custo total da BFR entregue à porta da unidade consumidora e o preço por esta oferecido.

Considerando o mercado global, com diversas fontes de energia e respectivos custos de produção, o potencial de mercado varia ao longo do tempo devido à flutuação dos preços. Este aspecto é mais claramente perceptível se atentarmos no recente aumento do preço do petróleo e que torna as restantes fontes de energia mais competitivas. Este potencial de mercado analisa a BFR como um dos vários recursos energéticos integrado num mercado concorrencial.

Outra categoria que pode ser definida é o potencial sócio-económico e que incorpora, para além das restrições anteriores, os factores ambientais e sociais. Os factores ambientais são, por exemplo, a conservação da biodiversidade ou da fertilidade do solo. A crescente preocupação com as alterações climáticas pode, também, resultar em instrumentos de política com o objectivo de internalizar os benefícios sociais e ambientais que advêm da utilização da BFR para a produção de energia. Assim, pode-se dizer que o potencial socio-económico deriva do potencial de mercado pela integração dos factores sociais e ambientais no mesmo mercado.

Apesar de ajudar na sistematização do grau de quantificação de BFR, não existe uma nomenclatura estabelecida e a anterior, pelo seu detalhe, é a menos utilizada. Em termos mais genéricos, costuma ser feita referência à oferta potencial e oferta real (Figura 20). A oferta potencial corresponde à curva da oferta (oferta em função do preço) e a oferta real à intersecção da curva da oferta com a curva da procura (procura em função do preço) (Berndes *et al*, 2003).

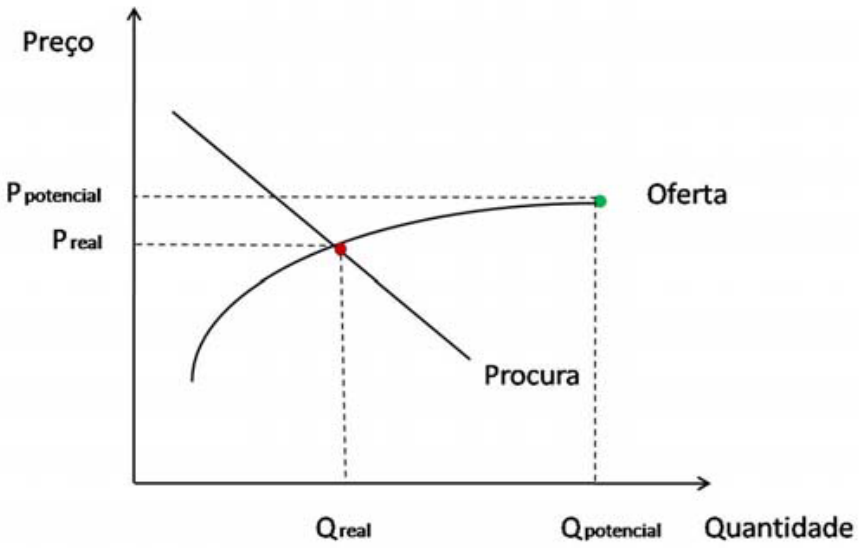

Figura 20 - Representação da oferta potencial (a verde) e oferta real (a vermelho)

Berndes *et al* (2003) divide as metodologias de avaliação do potencial de biomassa nas que são orientadas pela procura (demand-driven assessments) e nas que se centram no recurso (resource-focused assessments). O primeiro tipo de metodologia faz uma análise a partir de projecções de factores como consumo de energia, crescimento populacional ou preços de combustível. A avaliação da oferta de biomassa é realizada através da modelação da competição entre as várias fontes de energia. Por outro lado, a avaliação centrada no recurso é do tipo bottom-up, em que se estima o potencial físico da produção de biomassa e se podem considerar restrições ambientais. Os dois tipos de avaliação, se cruzadas com informação sobre a produção de biomassa no primeiro caso ou, no segundo, com a curva da procura, permitem estimar a quantidade de biomassa que será realmente explorada.

A estrutura geral das metodologias de avaliação do potencial de biomassa inclui informação de base sobre a ocupação florestal do local de estudo e equações ou tabelas de produtividade de biomassa. Na sua forma mais simples, uma avaliação pode ser feita com base na área florestal e num factor de produtividade de biomassa.

As avaliações assim feitas podem ser úteis como um processo expedito para estimar o potencial, mas não são adequados para a maior parte das necessidades reais. Se

considerarmos que o problema está em determinar como é que, para uma dada área de estudo, se traduz a ocupação florestal em energia disponível, a transição de um para o outro é feita por introdução das restrições apresentadas anteriormente, como indicado na Figura 17.

Em primeiro lugar, a ocupação florestal pode ser caracterizada quanto às espécies e sua distribuição, e, menos frequentemente, quanto a parâmetros dendrométricos mais particulares, como a idade, densidade, área basal ou altura média dos povoamentos. A maior parte dos estudos utiliza informação dos inventários nacionais, embora seja necessário complementar com informação mais precisa quando a escala do estudo for menor (por exemplo, ao nível local).

O cruzamento da informação florestal com a informação sobre a produtividade de biomassa permite obter o potencial técnico. No que respeita à produtividade, existe uma grande variedade de níveis de detalhe. Estudos à escala global ou continental usam factores de produtividade (volume, peso ou energia em função do tempo e da área) únicos ou fazem a distinção entre coníferas e folhosas. Os factores de produtividade podem também estar associados às tabelas de produção que costumam ser utilizadas na estimação de volumes comerciais de madeira. Outros estudos, ainda, fazem uso de equações empíricas de biomassa que relacionam a produção de biomassa e uma ou mais variáveis dendrométricas (DAP, altura total, altura da copa, etc.). Estas equações são, normalmente, ao nível da árvore, permitindo que sejam utilizadas para povoamentos com características distintas daquelas de onde foi feito o trabalho de campo. É importante, nesta fase, ter em consideração a representatividade das equações e o local de recolha das amostras, atendendo a factores como o tipo de solo, o clima e a densidade dos povoamentos. Os estudos que abrangem uma maior área geográfica deverão basear os factores de produtividade num grande número de amostras cuja distribuição seja representativa.

A estimação do potencial económico a partir do potencial técnico depende de factores tanto técnicos como económicos, influenciando-se mutuamente. O factor preponderante na estimação do potencial económico é o custo das operações de exploração da BFR. O custo das operações de transporte e de trituração determinam o

custo final da BFR à porta da unidade consumidora. Há, no entanto, factores extraordinários que influenciam o custo final. De facto, tecnicamente não é possível recolher toda a biomassa de um local, devido à baixa densidade do recurso, sem que os custos aumentem consideravelmente. Nas 13 parcelas onde foi desenvolvido o estudo do CBE (2004), verificou-se uma taxa de extracção média de 52%, variando entre 5% e 95%. A exploração de BFR em locais de difícil acesso ou com declives acentuados também só pode ser feita aumentando o custo final. Por outro lado, estes factores têm que ser considerados em conjunto com o preço oferecido pela procura. A humidade da BFR pode ser a característica que mais afectará o preço, mas também a contaminação com inertes tem influência, especialmente na comercialização de cepos.

Para estimar o potencial económico é necessário possuir informação sobre os custos de toda a cadeia de operações e, de preferência, como é que estes variam em função da distância de transporte. Geralmente, as análises limitam-se à utilização de funções de custo de transporte secundário, embora para o transporte primário também se possa proceder a uma relação entre o custo e a distância. Os modelos podem ser bastante diversificados quanto ao detalhe: alguns modelos assumem uma função única que depende da distância; outros integram a velocidade média dos veículos, a tonelagem, o tipo de estrada, o tempo de carga e descarga. Estes modelos, apesar da sua complexidade, permitem uma rigorosa aproximação dos custos reais do transporte de biomassa. Dois exemplos deste tipo de modelos são o modelo IBSAL (Integrated Biomass Supply Analysis and Logistics) (Sokhansanj *et al*, 2006) e o Forest Residues Transportation Costing Model (Rummer, 2005b).

Caso não exista informação que permita construir e utilizar uma função de custo de transporte, pode ser assumida uma distância máxima de abastecimento. Contudo, a utilização de um raio de abastecimento só deve ser utilizado quando se tem, pelo menos, informação sobre o preço oferecido pelo recurso pois será esse valor que determinará a área de abastecimento.

Nos estudos centrados no recurso, é frequente serem introduzidas restrições ambientais. A BFR desempenha um papel importante na preservação do fundo de fertilidade dos solos, na protecção contra a erosão e na conservação da biodiversidade

(Wiesenthal et al, 2006). Como tal, Wall & Nurmi (2002) sugerem que 70% da biomassa pode ser explorada, enquanto que Wiesenthal et al (2006) utilizam taxas de extracção diferenciadas consoante o tipo de solo e que podem ir desde 0% a 75%.

As restrições ambientais são as que mais comummente são aplicadas para estimar o potencial socioeconómico, embora nos estudos baseados na procura se dê relevância ao enquadramento e competitividade da biomassa em relação aos outros recursos energéticos. Os factores sociais, como sejam as práticas florestais e os costumes locais, apenas são considerados a um nível de detalhe que o justifique.

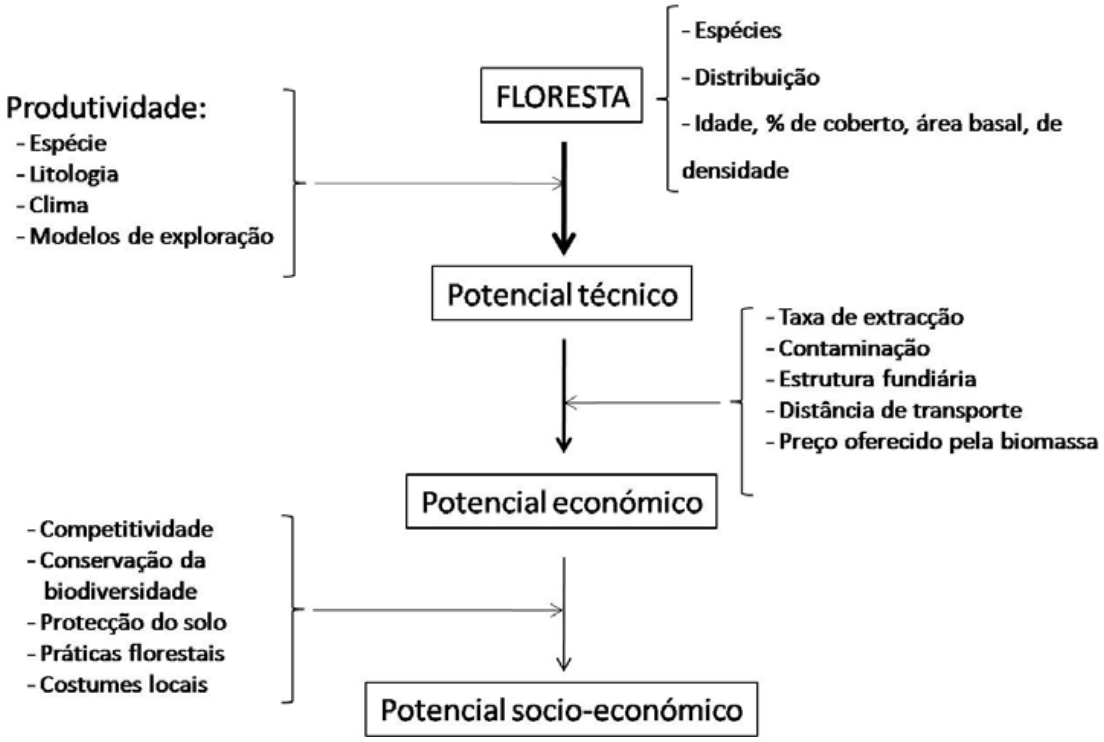

Figura 21 - Esquema geral da metodologia para a avaliação das diferentes categorias de potencial de biomassa e respectivas condições

A detecção remota tem vindo, nos últimos anos, a exercer um contributo, ainda que incipiente, no estudo do potencial da disponibilidade de biomassa. A sua relevância é crucial nos inventários florestais, permitindo conhecer a distribuição do coberto florestal e das espécies que o constituem. Existem, no entanto, aplicações ainda em desenvolvimento e que poderão tornar os estudos mais expeditos e baratos, sem perda de rigor. A utilização de imagens multi-espectrais de alta resolução poderá

permitir, num futuro próximo, a determinação rápida e precisa de parâmetros dendrométricos úteis para a aplicação de equações de biomassa ou estimar directamente a biomassa total (Rosillo-Calle et al, 2007). As técnicas de detecção remota permitem a monitorização da evolução da ocupação do solo, o que, só por si, é um contributo significativo para que os estudos de potencial de biomassa possam ser actualizados com maior regularidade.

As avaliações de potencial de biomassa podem variar relativamente ao seu horizonte de estudo. Há estudos que se limitam a assumir uma mesma realidade para um período de estudo, em que a ocupação florestal, oferta e procura se mantêm. Outros há que admitem projecções de variáveis, como o preço do petróleo ou a alteração do uso do solo, e que influenciam a oferta e a procura de biomassa.

Berndes *et al* (2003) considera que as estimativas do potencial global da biomassa variam principalmente por duas razões: os factores de produtividade utilizados e os pressupostos assumidos nas projecções de terra disponível para a produção de biomassa. São factores que variam precisamente pelos pressupostos assumidos e as estimativas, ainda que se pretenda que sejam o mais próximas da realidade possível, não serão mais do que previsões da oferta de biomassa quando os pressupostos se verificam.

Para além da variabilidade geográfica, a disponibilidade de biomassa tem uma variabilidade sazonal e temporal. A variabilidade sazonal deve-se não só ao facto de as operações florestais estarem sujeitas a condições climatéricas que as influenciam, como também à procura de biomassa que aumenta na estação fria. A variabilidade temporal (inter-anual) corresponde às flutuações nos fluxos de biomassa à escala anual. Esta variabilidade deve-se, essencialmente, ao facto de que a área disponível para produção de biomassa varia por causa da distribuição heterogénea das idades dos povoamentos e das alterações da ocupação do solo.

5.2. METODOLOGIA

Neste trabalho, a produção de BFR potencial refere-se a toda a BFR que é possível recolher de um povoamento, sem considerar a vertente económica. A disponibilidade de BFR, por sua vez, exprime a quantidade de BFR que é economicamente viável recolher e transportar até a um local de consumo.

De acordo com o trabalho elaborado por Netto (2008), o conceito de BFR considera apenas os ramos, folhas e bicadas. A bicada é definida como a parte superior do fuste a partir do qual o diâmetro é inferior a 7 centímetros. A utilização dos cepos, removidos após o corte final e antes de uma nova plantação, não foi considerada. O trabalho considerou apenas a BFR proveniente das operações de desbaste e de corte final, excluindo a operação de desrama, no caso dos pinheiros, e de selecção de toiças, no caso do eucalipto.

5.2.1. Quantificação da biomassa florestal residual potencial

Importa definir, em primeiro lugar, o âmbito da avaliação da quantificação da BFR potencial dos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca. O trabalho de Netto (2008) considerou apenas a BFR dos povoamentos puros de eucalipto e pinheiro, e assumiu como pressuposto que os povoamentos de pinheiro bravo e de pinheiro manso têm a mesma produção de BFR. Os povoamentos mistos não foram considerados na análise pelo facto de a sua gestão silvícola não permitir a estimativa de BFR usando os mesmos pressupostos metodológicos usados para os povoamentos puros.

A BFR proveniente do montado de sobro foi excluída da análise por se entender que a sua exploração é potencialmente menos viável quando comparada com as outras duas espécies, porque:

1. A BFR no montado provém dos desbastes e das podas, sendo que estas últimas são cada vez menos frequentes (Igreja, 2007);
2. A densidade do montado é relativamente baixa, o que aumenta os custos de transporte primário;

3. A biomassa de sobreiro é extremamente valorizada nos mercados locais de lenha.

Dado que a presente avaliação é uma estimativa e, portanto, admite um certo grau de incerteza, optou-se por considerar duas estimativas ou cenários que extremassem as disponibilidades de BFR. Assim, a avaliação consistiu em estimar cenários de produções máxima (cenário Optimista) e mínima (cenário Conservador) de BFR. Os dois cenários permitem formar um intervalo de valores onde é plausível encontrar a produção real de BFR. A avaliação da biomassa produzida pelas duas espécies em estudo assentou em duas metodologias distintas, apresentadas a seguir.

5.2.1.1. Metodologia de quantificação de BFR para os povoamentos de pinheiro

Para os povoamentos puros de pinheiro, a metodologia para quantificar a BFR integra cinco componentes sequenciais:

- ✓ Definição dos modelos de silvicultura;
- ✓ Utilização do modelo Pbravo;
- ✓ Trabalho de campo;
- ✓ Tratamento estatístico;
- ✓ Estimação da produção de BFR.

Definição dos modelos de silvicultura

Um modelo de silvicultura é, no contexto deste trabalho, um programa de gestão silvícola onde se estabelece a densidade das plantas no ano de instalação (ano 0) e os anos em que ocorrem os desbastes e o corte final. Os desbastes têm que ser definidos quanto ao grau, i.e., a percentagem de árvores removidas em relação ao total de árvores em pé antes do desbaste. Os modelos considerados para os povoamentos de pinheiro e os respectivos parâmetros são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Densidade inicial, grau de desbaste e idades (em anos) dos desbastes e corte final dos modelos de silvicultura considerados para obtenção dos cenários Optimista e Conservador (D1= 1º desbaste; D2= 2º desbaste; D3= 3º desbaste; CF= Corte final)

Modelo	Densidade (nº de plantas/ha)	Grau de desbaste (%)	D1	D2	D3	CF
1	1666	20	10	20	30	40
2		30	15	25	35	45
3		20	10	20	30	40
4		30	15	25	35	45
5	1333	20	10	20	30	40
6		30	15	25	35	45
7		20	10	20	30	40
8		30	15	25	35	45
9	1111	20	10	20	30	40
10		30	15	25	35	45
11		20	10	20	30	40
12		30	15	25	35	45

Utilização do modelo Pbravo

O modelo Pbravo (Páscoa, 1990) é um modelo de crescimento e produtividade para povoamentos de *Pinus pinaster*. O modelo permite fazer a simulação da condução de um povoamento através da definição de parâmetros como a densidade ou a altura dominante do povoamento e estima o volume total, volume de rolaria e o volume de madeira, por hectare.

A utilização do modelo Pbravo teve como finalidade estimar o diâmetro à altura do peito (DAP) para cada uma das idades em que ocorrem desbastes ou cortes finais. Assim, introduzindo os parâmetros de cada modelo de silvicultura, o modelo Pbravo permitiu transformar as idades do Quadro 6 em DAP para cada desbaste e corte final. Na utilização do modelo considerou-se como classe de qualidade dos povoamentos a classe média e a densidade foi introduzida como o número de plantas vivas por hectare, i.e., a mortalidade foi excluída.

Trabalho de campo

O objectivo do trabalho de campo foi recolher dados que permitissem estabelecer uma relação entre uma ou mais variáveis biométricas (variáveis independentes) e a BFR (variável dependente), ao nível da árvore. O trabalho de campo realizou-se entre 24 de Julho e 3 de Agosto, no Campo de Tiro de Alcochete, e contou com a participação da FLORECHA, empresa que desenvolvia, naquele período, trabalhos florestais no local. O local do trabalho de campo era um povoamento misto de pinheiro e sobreiro.

O protocolo de campo consistiu em montar uma balança romana numa pernada de uma árvore (Figura 22) e, na zona em redor, proceder ao desbaste normal das árvores mais próximas com o mesmo critério que estava a ser utilizado até então pela empresa. Para cada árvore abatida, foi medido (i) o DAP, (ii) a altura total e (iii) a altura da bicada. A desrama foi feita no local de abate e, posteriormente, tanto a rolaria como a rama foi transportada para o local onde a balança estava instalada. O peso da rolaria e o peso da rama e bicada foram registados separadamente na ficha de campo. Foram recolhidas 37 amostras.

Figura 22 - Método de pesagem da BFR com recurso a uma balança romana

Para determinar a humidade e, posteriormente, o peso seco da biomassa, foram recolhidas três amostras do fuste de três árvores distintas. As amostras, assim como os seus recipientes, foram pesadas antes e depois de serem colocadas em estufa a 105 ºC durante três dias.

Tratamento estatístico

Os dados recolhidos foram analisados numa primeira fase de forma a avaliar a sua qualidade, tendo sido rejeitados todos os valores que pudessem ser considerados anormais. Por exemplo, foi amostrada uma árvore que tinha uma bifurcação e que foi rejeitada por apresentar um valor de BFR muito superior a árvores de DAP semelhante. Foram testados vários modelos de regressão linear com o objectivo de encontrar o que tivesse um coeficiente de determinação (R2) mais elevado e que melhor explicasse o comportamento da variável em estudo, a BRF. A variável dependente que apresentou um R2 mais elevado foi o DAP e, por isso, na utilização do Pbravo estimou-se esta e não outras variáveis, como sejam a altura total ou a altura da copa. O software usado foi o Microsoft Office Excel 2007.

A equação obtida foi comparada com equações similares para o pinheiro bravo:

- $BFR\ (kg\ ms/árvore) = 0{,}656 \times (1 - 0{,}579) \times DAP^{2{,}364} \times AT^{-0{,}977}$

  $(A.D.Little\ \&\ Tecninvest, 1985)$

  Em que,

  $AT = altura\ total\ (m)$

- $BFR\ (kg\ ms/árvore) = 0{,}4630 \times \left(1 - \frac{1}{2{,}357}\right) \times DAP^{1{,}604}$ $(Silva\ et\ al, 1987)$

  Em que,

  $DAP = diâmetro\ à\ altura\ do\ peito\ (cm)$

A altura total da árvore, para aplicar a primeira equação, foi estimada utilizando o modelo Pbravo.

Estimativa da produção de BFR

A estimativa da BFR produzida em função do DAP foi obtida através da melhor regressão linear ajustada na fase anterior. Os valores obtidos de BFR (kg por árvore) foram convertidos em toneladas por hectare, por multiplicação da BFR pelo número de árvores abatidas em cada operação florestal e, posteriormente, por adição da estimativa de BFR das quatro operações florestais. A quantidade anual de BFR, em peso seco por hectare, foi obtida por divisão pelo número de anos de exploração do povoamento – 40 ou 45 anos, conforme os modelos de silvicultura – e por multiplicação pela fracção de matéria seca da BFR. O cenário Optimista e Conservador correspondem, respectivamente, às produções anuais máxima e mínima dos modelos de silvicultura considerados. O esquema geral da metodologia para a quantificação da BFR proveniente dos povoamentos de pinheiro é apresentado na Figura 23.

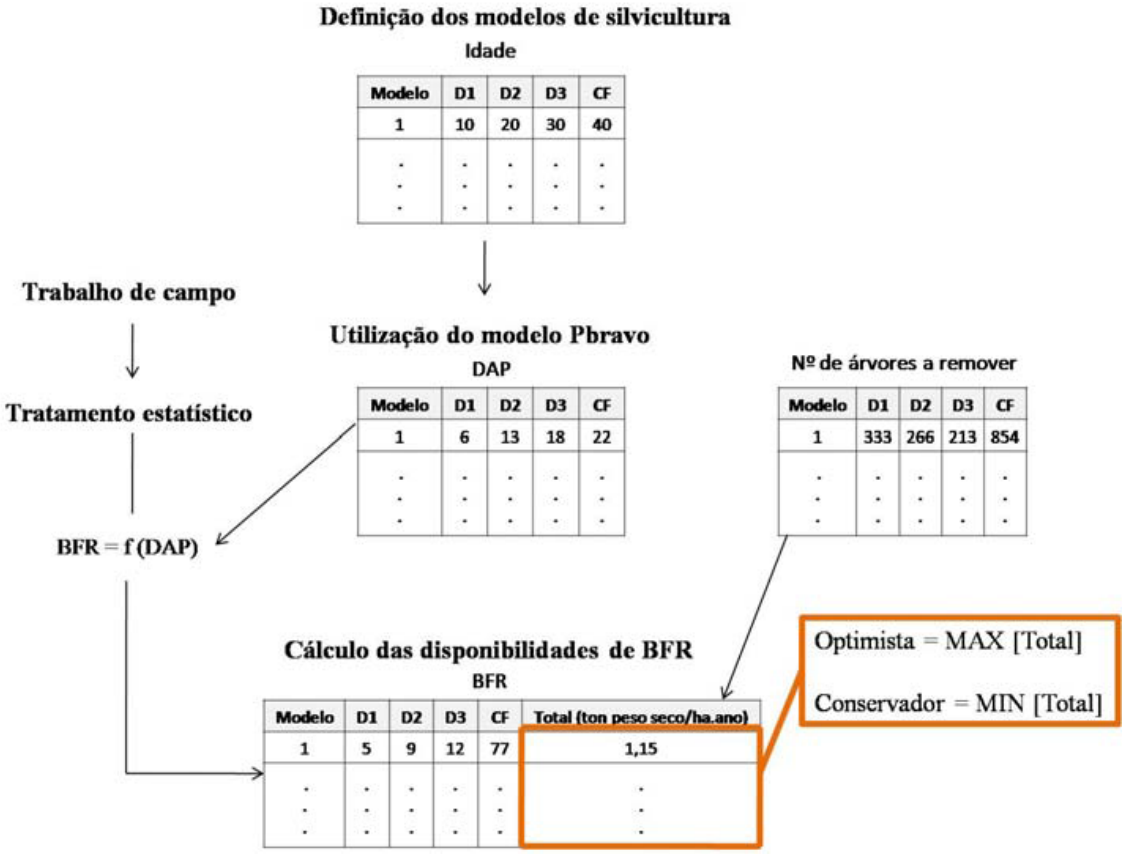

Figura 23 - Esquema da metodologia implementada para a avaliação das disponibilidades de BFR para os povoamentos de pinheiro bravo

5.2.1.2. Metodologia para a avaliação da BFR proveniente de povoamentos de eucalipto

A avaliação da BFR proveniente dos povoamentos de eucalipto baseou-se nas equações de biomassa utilizadas no modelo Globulus 2.1 (Tomé *et al*, 2001). O modelo tem por objectivo principal a estimativa do crescimento dos povoamentos de eucalipto, considerando as diferentes condições edafo-climáticas do país. A versão 2.1 do modelo é um aperfeiçoamento da versão anterior e inclui um sub-modelo para a estimar a biomassa total e por componentes. As equações de biomassa ao nível da árvore foram calibradas com base em 484 árvores e que, cruzadas com os dados de 79 povoamentos, permitiram obter equações de biomassa ao nível do povoamento (Tomé et al, 2001).

O modelo Globulus 2.1 estima a BFR, em toneladas secas por hectare, através das equações 6.1-6.4. O modelo considera a biomassa total (Wt) como a soma da biomassa do tronco (Wtronco) e da biomassa da copa (Wcopa), ou BFR. A biomassa do tronco é estimada através da sua fracção em função da biomassa total. A diferença entre a biomassa total e a biomassa do tronco é igual à biomassa da copa. Os parâmetros utilizados – densidade (N), altura dominante (hdom) e área basal (G) – são estimados por outras equações do modelo, apresentadas em Tomé *et al* (2001).

$$W_t = (0{,}0095 + 0{,}00025 * Iqe) \times G^{\left(1{,}1392 - 0{,}0424 \times \frac{N}{10000} - 0{,}0115 \times I\right)} \times h_{dom}^{2{,}4043} (6.1)$$

$$P_{tronco} = 0{,}2019 \times G^{0{,}1613 + 0{,}0046 \times \frac{N}{1000} - 0{,}0037 \times I - 0{,}0355 \times Iqe/10} \times h_{dom}^{0{,}4301} (6.2)$$

$$W_{tronco} = W_t \times P_{tronco} \ (6.3)$$

$$W_{copa} = W_t - W_{tronco} \ (6.4)$$

Em que,

$Wt = biomassa\ total\ aérea\ (t\ ms/ha)$

$Iqe =$ índice de qualidade da estação; *ou altura dominante aos* 10 *anos* (m)

$G =$ área basal por hectare $(m^2 ha^{-1})$ das árvores com diâmetro superior a 5 cm

$h_{dom} = altura\ dominante;$

$= altura$ média das árvores mais grossas na proporção de 100 por hectare (m)

$P_{tronco} = fracção\ da\ biomassa\ total\ aérea\ que\ corresponde$ à $biomassa\ do\ tronco$

$W_{tronco} = biomassa\ do\ tronco\ (t\ ms/ha)$

$W_{copa} = biomassa\ da\ copa\ (t\ ms/ha)$

Optou-se por criar vários cenários de produção de BFR de eucalipto fazendo variar (i) o Índice de Qualidade da Estação (Iqe), (ii) a densidade inicial do povoamento e (iii) o número de anos de rotação. Os cenários considerados estão apresentados no Quadro 6. Foram escolhidos dois valores de Iqe, justificados pelo Inventário Florestal do concelho da Chamusca (DEF, 1999), realizado em 1998, e que indica que 40% e 72% dos povoamentos de eucalipto amostrados têm um Iqe igual ou inferior a 18 e 22 metros, respectivamente. Foram consideradas duas densidades iniciais que representam a variação de 7,84% (erro da amostra) em torno da densidade média obtida no Inventário Florestal e que se traduz em cerca de 1476 árvores por hectare. Assim, os dois valores de densidade inicial traduzem os limites do intervalo amostrado. Quanto à duração da rotação, optou-se por considerar um ciclo tradicional de 12 anos e um ciclo de 10 anos. Para todos os cenários foram considerados quatros ciclos de rotação.

A produção de BFR foi estimada por aplicação das equações anteriores com o auxílio de uma folha de Excel da autoria do Grupo de Inventariação de Recursos Florestais

(GIMREF-ISA). A produção total anual de BFR dos povoamentos de eucalipto foi obtida através da divisão da soma das produções de cada rotação pela duração da rotação. A produção anual (t ms.ha-1.ano-1) mínima e máxima resultante do conjunto de situações analisadas constituem os dois cenários – Conservador e Optimista, respectivamente – com que se desenvolveu a restante análise.

Quadro 6 - Cenários considerados na estimativa de produção de BFR proveniente dos povoamentos de eucalipto (Iqe = Índice de Qualidade da Estação; N = número inicial de plantas por hectare)

Cenário	Iqe (m)	N	Duração da rotação (anos)
1	22	1592	10
2	22	1592	12
3	22	1361	10
4	22	1361	12
5	18	1592	10
6	18	1592	12
7	18	1361	10
8	18	1361	12

5.2.2. Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual

A construção das curvas de oferta de biomassa (i) para os quatro locais possíveis da central a biomassa no distrito de Santarém e (ii) para outros dois pontos de consumo (a central a biomassa de Constância de 13 MW e a central do Pego, a carvão), assenta no pressuposto de que a área de abastecimento de uma central tem como fronteira os pontos onde o custo da biomassa por tonelada iguala o valor oferecido pelo consumidor. Neste trabalho assume-se que o custo da biomassa é a soma dos custos das operações individuais que constituem a cadeia de abastecimento, associado de uma percentagem que se admitiu ser a margem de comercialização. A cadeia de abastecimento é constituída pelo abate, processamento, transporte primário, trituração e transporte secundário até ao ponto de consumo. Destas cinco operações, apenas as três últimas devem ser imputadas às operações de comercialização de BFR,

porque as restantes operações são efectuadas obrigatoriamente para assegurar o produto principal, a rolaria.

A metodologia para a análise da disponibilidade da BFR inclui as seguintes componentes: compilação dos custos das operações, preparação dos dados num SIG, determinação das áreas de abastecimento, construção das curvas de oferta anuais, determinação do contributo para a produção de electricidade, determinação dos raios de abastecimento, determinação do lucro médio da BFR para o produtor e derivação de uma carta de acessibilidade à BFR.

5.2.2.1. Compilação dos custos das operações de exploração de BFR

Os custos das operações de transporte primário e trituração foram obtidos a partir dos dados disponibilizados no trabalho Optimização das Operações de Exploração Florestal, Recolha, Acondicionamento, Transporte e Transformação Primária da Biomassa Florestal Residual para a Produção de Energia (CBE, 2004). Este trabalho foi realizado nos distritos de Coimbra e Viseu com o propósito de estimar a produtividade e os custos das operações ligadas à exploração da BFR. A Figura 24 apresenta as características das várias parcelas onde se realizou o estudo.

Local da parcela	Tipo de Povoamento	Quantidade de biomassa florestal residual produzida (ton)	Quantidade de biomassa florestal residual retirada (ton)	% de biomassa florestal residual que ficou na parcela
Arcos	Eucalipto	565,0	125,6	77,8
Avelãs de Cima	Eucalipto	42,4	37,8	10,8
Avelãs de Cima	Eucalipto	291,2	142,5	51,1
Belazaima do chão	Eucalipto	18,7	10,3	45,0
Botão	Eucalipto	164	70,4	57,1
Carragosela	Eucalipto	57,4	48,0	16,4
Espinho	Pinheiro bravo	48,4	23,4	51,6
Freixo	Eucalipto	(1)	23,1	(1)
Linhar de Pala	Eucalipto	125,4	119,5	4,7
Luso	Eucalipto	227,9	112,7	50,5
Palheiros de Cima	Eucalipto	1597,3	82,2	94,9
Papízios	Eucalipto	370,6	120,5	67,5
Portela do Fojo	Eucalipto	50,0	9,5	81,0
Trezoi	Eucalipto	58,1	49,9	14,1
Total		3 616,40	937,8	74,1

(1) esta parcela foi sujeita a selecção de varas.

Figura 24 - Características das parcelas analisadas no estudo do CBE (2004)

Foram calculados os custos médios das operações de transporte primário e trituração apenas utilizando os casos em que os trabalhos de campo tenham decorrido dentro da normalidade. Situações de custos muito elevados devido a problemas de logística, demasiados recursos sem acréscimo de produtividade ou falta de experiência, foram excluídas. Devido ao facto de se ter verificado uma relativa disparidade nos custos médios do transporte primário em função do tipo de máquina utilizada (camião, forwarder ou tractor agrícola), optou-se por fazer uma divisão em dois cenários Optimista e Conservador. Assim, o cenário Optimista considerou um custo de transporte primário que é formado por 1/3 do custo médio do transporte com tractor agrícola e 2/3 do custo médio do transporte com camião e forwarder, enquanto que no cenário Conservador as fracções são 2/3 e 1/3, respectivamente. Esta divisão pretende repercutir na análise uma diferença na maturidade do mercado: o cenário Conservador representa um mercado em que ainda não existe adaptação específica à exploração da BFR, enquanto que o cenário Optimista deverá ocorrer num mercado maduro e estabelecido em que existe adaptação tecnológica.

O custo de trituração é constituído por duas operações: alimentação e trituração. O custo médio da operação de trituração resulta da soma dos custos médios de cada uma destas operações. Foi feita uma selecção dos valores do trabalho do CBE (2004) considerando só os que se referiam à trituração de BFR.

O custo total antes do transporte secundário é a soma do custo médio de transporte primário e do custo de trituração. Aos custos calculados para cada cenário foi, contudo, acrescentado mais 20% do seu valor inicial numa tentativa de aproximar os custos reais aos preços de mercado, de acordo com opiniões da região, pelo que se admite que este valor possa corresponder à margem de comercialização.

O custo de transporte secundário foi determinado através de um inquérito realizado a cinco transportadoras nacionais. As empresas diferem na forma como realizam orçamentos e o custo por quilómetro varia, principalmente, com a distância a percorrer, mas também com o tipo de trajecto (estradas ou caminhos florestais), disponibilidade da transportadora e tempos de carga e descarga. O inquérito consistiu num contacto por telefone a cada empresa, à qual era solicitada informação sobre o

custo por quilómetro, a tonelagem dos camiões utilizados e as características das situações de transporte de BFR que a empresa pudesse ter feito ultimamente. Os valores registados referem-se ao custo de transporte secundário de BFR triturada. O inquérito foi realizado entre 25 de Setembro e 4 de Outubro de 2007. A dificuldade em obter valores coerentes entre empresas levou a que se construísse uma regressão linear, relacionando a distância percorrida e o custo de transporte (€/t).

5.2.3. Quantificação da biomassa florestal residual potencial

No trabalho de campo foram recolhidas 37 amostras de pinheiro bravo com DAP compreendidos entre 9 cm e 27,5 cm. Foi excluída uma amostra por ter uma bifurcação do fuste a 5,4 metros de altura e que apresentou valores muito elevados de biomassa florestal residual (BFR). A humidade média obtida para as três amostras recolhidas foi de 55,7% (±3,1%).

A partir dos dados recolhidos foram calibradas equações de biomassa. Duas equações foram estabelecidas com o DAP como variável independente e outra equação com a altura total da árvore como variável independente. A equação que apresenta uma maior coeficiente de determinação (R2) foi obtida logaritmizando os valores de BFR e ajustando uma recta de regressão pelo método dos mínimos quadrados. A equação escolhida para estimar a produção de BFR (kg ms/árvore) de pinheiro foi:

$$BFR = e^{(\beta_0+\beta_1\times DAP)} \quad (7.1)$$

$Em\ que,$

$BFR = biomassa\ florestal\ residual\ (kg\ ms/árvore)$

$DAP = diâmetro\ à\ altura\ do\ peito\ (cm)$

$\beta_0; \beta_1 =$ parâmetros da equação

A escolha foi baseada não só no facto de ter apresentado o R2 mais elevado das três equações (0,876), mas também porque na análise dos resíduos normalizados apenas dois valores estarem fora do intervalo]-2; 2[e porque a distribuição dos resíduos é aleatória.

Comparando a equação escolhida por Netto (2008) com outras duas recolhidas da bibliografia, constata-se que a equação estima valores de BFR semelhantes para DAP até 15 cm (Figura 25). Dado que se trata de uma regressão linear de valores logaritmizados, para DAP superiores a 15 cm a equação estima valores mais elevados do que as outras duas equações.

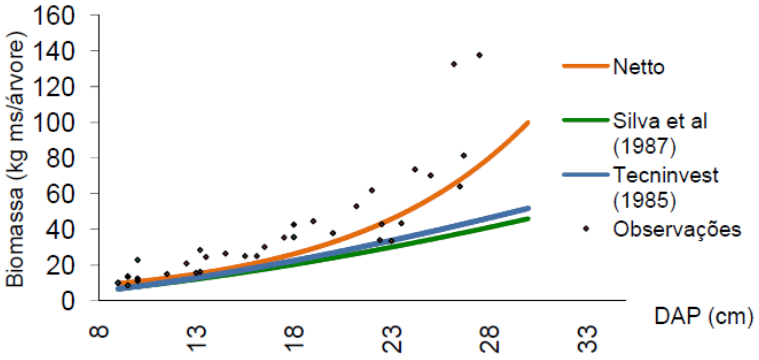

Figura 25 - Comparação entre a equação de biomassa obtida com duas equações da bibliografia

O Quadro 7 apresenta o DAP médio em cada desbaste ou corte final, calculado em função das características de cada modelo através do Pbravo, e a BFR retirada em cada uma dessas operações, estimada pela equação anterior. A produção anual de BFR de pinheiro é estimada dividindo a produção total de BFR pelo número de anos de exploração.

Quadro 7 - Produção total de BFR de pinheiro bravo e apresentação dos valores intermédios utilizados para o seu cálculo

Modelo		D1	D2	D3	CF	Nº de anos de exploração	Total (t ms/ha)	Total anual (t ms/ha.ano)
1	DAP	6,0	13,0	17,8	21,8	40	45,99	1,15
	Nº árvores removidas	333	266	213	854			
	BFR (t ms/ha)	2,29	4,00	5,47	34,24			
2	DAP	10,1	15,4	19,4	22,3	45	51,58	1,15
	Nº árvores removidas	333	266	213	854			
	BFR (t ms/ha)	3,62	5,22	6,53	36,20			
3	DAP	6,0	13,4	19,1	24,1	40	45,84	1,15
	Nº árvores removidas	499	350	245	572			
	BFR (t ms/ha)	3,43	5,50	7,27	29,64			
4	DAP	10,1	15,9	20,6	25,0	45	54,05	1,20
	Nº árvores removidas	499	350	245	572			
	BFR (t ms/ha)	5,43	7,27	8,59	32,77			
5	DAP	6,1	13,9	19,4	23,8	40	44,88	1,12
	Nº árvores removidas	266	213	170	684			
	BFR (t ms/ha)	1,85	3,54	5,22	34,28			
6	DAP	10,3	16,4	20,9	24,8	45	52,12	1,16
	Nº árvores removidas	266	213	170	684			
	BFR (t ms/ha)	2,96	4,68	6,16	38,32			
7	DAP	6,1	14,3	20,7	26,3	40	44,92	1,12
	Nº árvores removidas	399	280	196	458			
	BFR (t ms/ha)	2,78	4,86	6,95	30,33			
8	DAP	10,3	16,8	22,2	26,1	45	48,74	1,08
	Nº árvores removidas	399	280	196	458			
	BFR (t ms/ha)	4,44	6,43	8,22	29,66			
9	DAP	6,2	14,6	20,7	25,6	40	44,69	1,12
	Nº árvores removidas	222	177	142	570			
	BFR (t ms/ha)	1,56	3,18	5,04	34,91			
10	DAP	10,5	17,2	22,2	26,5	45	51,33	1,14
	Nº árvores removidas	222	177	142	570			
	BFR (t ms/ha)	2,52	4,25	5,95	38,60			
11	DAP	6,2	15,1	22,1	28,3	40	45,15	1,13
	Nº árvores removidas	333	233	163	382			
	BFR (t ms/ha)	2,34	4,42	6,76	31,62			
12	DAP	10,5	17,6	23,5	29,0	45	51,72	1,15
	Nº árvores removidas	333	233	163	382			
	BFR (t ms/ha)	3,79	5,85	7,90	34,19			

As produções variam entre 1,08 e 1,20 t ms/ha.ano. O modelo cuja produção anual de BFR é máxima (modelo 4), caracteriza-se por uma densidade inicial de 1666 árvores por hectare, um grau de desbaste único de 30%, (anos 15, 25 e 35) e com o corte final aos 45 anos de exploração. Por outro lado, a produção mínima foi estimada para o modelo 8, modelo com as mesmas características do modelo 4, à excepção da densidade que é de 1333 árvores por hectare.

Do mesmo modo, o Quadro 8 apresenta a produção de BFR proveniente de povoamentos de eucalipto para cada cenário de produção, estimada através do modelo Globulus 2.1. A produção anual máxima ocorre para o cenário 3, onde o Índice de Qualidade da Estação (Iqe) é máximo (22 m), a densidade inicial é de 1361 árvores por hectare e a duração da rotação é de 10 anos. No outro extremo, a produção anual mínima é atingida para o cenário 8, que se diferencia do anterior no Iqe (18 m) e na duração da rotação (12 anos).

Quadro 8 - Produção de BFR para os povoamentos de eucalipto estimada com base no modelo Globulus 2.1

Cenário	Iqe	N	Duração da rotação	BFR por rotação (t ms/ha)				BFR anual (t ms/ha.ano)
				1	2	3	4	
1	22	1592	10	12,68	11,58	11,58	11,58	1,19
2	22	1592	12	13,48	12,86	12,86	12,86	1,08
3	22	1361	10	12,82	11,75	11,75	11,75	1,20
4	22	1361	12	13,78	13,11	13,11	13,11	1,11
5	18	1592	10	11,31	10,44	10,44	10,44	1,07
6	18	1592	12	12,96	11,94	11,94	11,94	1,02
7	18	1361	10	11,21	10,45	10,45	10,45	1,06
8	18	1361	12	12,99	12,03	12,03	12,03	1,02

Os cenários Optimista e Conservador são definidos pelas produções anuais de BFR máxima e mínima para as duas espécies em estudo. As produções anuais máximas de BFR de pinheiro e eucalipto coincidem, enquanto que no cenário Conservador existe uma diferença de 60 kg ms/ha.ano (Quadro 9).

Quadro 9 - Produção anual de BFR (t ms/ha.ano) por espécie e cenário

Espécie/Cenário	Optimista	Conservador
Pinheiro bravo	1,2	1,08
Eucalipto	1,2	1,02

A produção potencial de BFR é, para o conjunto dos três concelhos da área de estudo, aproximadamente 35 585 t ms/ano e 30 601 t ms/ano para os cenários Optimista e Conservador, respectivamente (Quadro 10). Estes valores ainda não consideram uma taxa de extracção de 70%.

Quadro 10 - Produção anual potencial de BFR (t ms/ano) por espécie e cenário

Espécie/Cenário	Optimista	Conservador
Pinheiro bravo	7077	6369
Eucalipto	28508	24232
Total	35585	30601

5.2.4. Custo das operações de exploração de biomassa florestal residual

O custo de transporte primário foi estimado em 6,31 €/t e 7,24€/t para os cenários Optimista e Conservador (Quadro 11). A diferença de 0,94 €/t (15%) deve-se ao pressuposto de que no cenário Optimista existe uma maior utilização de maquinaria mais eficiente e especializada.

O custo de trituração de BFR é resultado da soma do custo de alimentação e do custo de trituração propriamente dito. Para esta operação não foi feita distinção entre os dois cenários, sendo o custo médio igual a 8,05 €/t.

Quadro 11 - Custos de transporte primário e trituração (em €/t)

		Custo (€/t)	Optimista	Conservador
Transporte primário	Camião	5,58	66%	33%
		7,87		
		4,39		
		4,04		
	Forwarder	5,06		
		4,89		
		5,22		
		4,64		
		6,63		
	Tractor agrícola	8,53	33%	66%
		7,69		
		8,32		
	Custo ponderado (€/t)		6,31	7,24
Trituração	Alimentação	1,49	1,51	1,51
		1,51		
		1,54		
	Trituração	6,5	6,53	6,53
		7		
		6,1		
	Custo médio (€/t)	8,05		
Custo total (real) (€/t)			14,35	15,29
Custo (preço de mercado) (€/t)			17,22	18,35

A soma do custo de transporte primário e do custo de trituração é o custo total antes do transporte secundário. Os valores que estiveram na base dos cálculos referem-se aos custos reais suportados pelos empreiteiros florestais. No contexto deste trabalho interessa o preço de mercado da BFR, pelo que ao custo real foi acrescentada uma margem de 20%, como já referido na metodologia. O custo total das operações de exploração de BFR até ao transporte secundário é igual a 17,22 €/t e 18,55 €/t para os cenários Optimista e Conservador, respectivamente. A diferença de custos entre os dois cenários é de 1,13 €/t, ou seja, 6,6%.

O inquérito realizado às transportadoras serviu para estimar uma função de custo de transporte secundário. Foram recolhidas sete observações, às quais se ajustou uma função de transporte através do método dos mínimos quadrados (Figura 26).

$$Custo\ de\ transporte\ secundário\ (€.t^{-1}) = 3{,}368 + 0{,}07632 \times Distância\ (km)\ (7.2)$$

A distância, na equação anterior, refere-se à distância entre o carregadouro e a unidade consumidora.

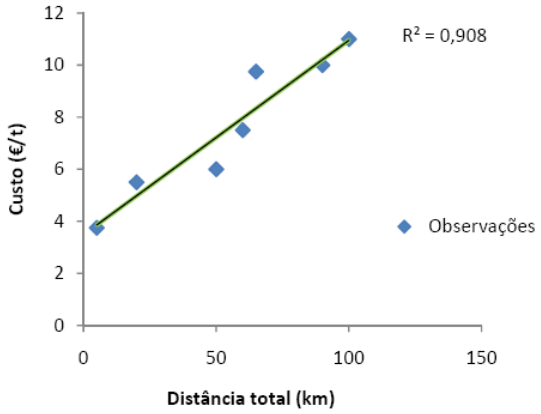

Figura 26 - Custos de transporte secundário (€/t) em função da distância entre o carregadouro e unidade consumidora

Na estrutura de custo da BFR, a operação de trituração, constituída pela alimentação e trituração propriamente dita, é a que tem maior peso com 47% do total do custo, em tonelada de BFR por quilómetro transportado (Figura 25). O custo de transporte secundário representa, à partida, 17% do custo total, embora este valor cresça em função da distância. Para uma distância transportada de 35 km, passa a representar cerca de 26% do custo total (Figura 27). Importa referir que o transporte primário representa entre 32 e 36%, mas que estes valores não têm em conta diferentes distâncias de transporte.

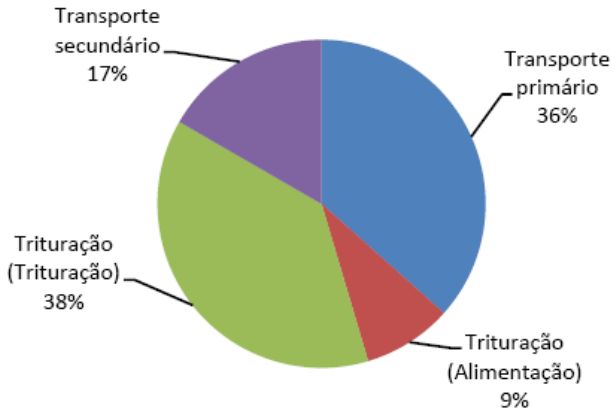

Figura 27 - Estrutura de custos da BFR para o cenário Optimista (%/t.km

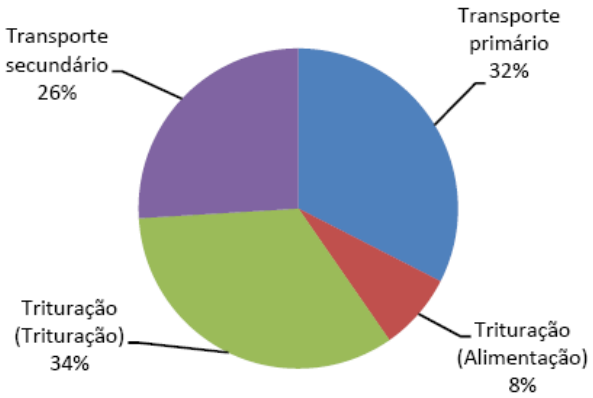

Figura 28 - Estrutura de custos de BFR para uma distância de transporte secundário de 35 km e para o cenário Optimista

5.2.5. Determinação do contributo da área de estudo para a produção de electricidade

A energia potencial da área de estudo, em BFR, varia entre cerca de 304 TJ/ano e 353 TJ/ano para os cenários Conservador e Optimista, respectivamente. Estes valores foram obtidos através da aplicação da Eq. 6.7. Segundo a DGGE (2006f), o consumo de electricidade dos três concelhos em 2005 foi equivalente a 521 TJ. Isto significa que a BFR potencial da área de estudo pode representar aproximadamente entre 12-14% do consumo total de energia eléctrica, com uma eficiência eléctrica de 20%.

5.3. VARIÁVEIS AO POTENCIAL PRODUTIVO DE BIOMASSA

5.3.1. INCÊNDIOS FLORESTAIS

Os incêndios florestais, dependendo da sua severidade e do grau de susceptibilidade das árvores, podem influenciar a disponibilidade de biomassa. Por um lado, contribuem para a redução direta da disponibilidade desta através da combustão ou inutilização de parte da biomassa na árvore. Contudo, é importante realçar que o grau de inutilização da biomassa após um incêndio é muito variável, estando bastante relacionado com a idade das árvores. De uma forma geral, árvores mais jovens são

mais susceptíveis à acção dos incêndios e sofrem por isso um maior grau de inutilização da biomassa. Por outro lado, dependendo da severidade dos incêndios, estes podem conduzir à antecipação das operações de corte final, tornando imediatamente disponível a biomassa que de outro modo só estaria disponível mais tarde. Além disso, mais uma vez dependendo da severidade do fogo e da susceptibilidade das árvores, a madeira queimada do tronco pode ficar inutilizada para os destinos industriais normais, passando a constituir biomassa (utilizável para bioenergia). Todas estas variáveis e condicionantes estão consideradas no modelo que atribui, para cada idade do povoamento, a percentagem de biomassa inutilizada, a percentagem de biomassa de madeira do tronco que pode ser canalizada para bioenergia e a probabilidade de incêndio em cada concelho. A probabilidade de incêndio foi obtida, para cada concelho, com base nas respectivas estatísticas de áreas ardidas de povoamentos florestais dos últimos 10 anos (Anexo I – Figura 4).

5.3.2. DECLIVE

Dependendo do tipo de solo e do declive, pode ser desaconselhado retirar a BFR do solo, uma vez que estes materiais ao ficarem dispostos no solo constituem uma cobertura protectora contra os factores erosivos, nomeadamente por reduzirem a velocidade de escoamento superficial e por interceptarem e absorverem a energia cinética das gotas de chuva.

Para quantificar a restrição de protecção de solo foram considerados diferentes níveis de limitação à recolha para diferentes combinações de erodibilidade, profundidade e declive. Desta forma, para cada espécie em cada concelho cruzou-se a cobertura os pontos de inventário com a carta de solos e com uma cobertura de declives (Anexo I – Figura 5).

Obteve-se assim o valor médio desta restrição por espécie concelho que posteriormente foi integrado no modelo de previsão de disponibilidade de biomassa.

6. AQUECIMENTO DE EDIFÍCIOS COM BASE EM SISTEMAS DE BIOMASSA

6.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Existem muitas razões para considerar o aquecimento de grandes edifícios com base em sistemas a biomassa, sendo igualmente possível o arrefecimento desses edifícios com este mesmo combustível. Além de ser uma opção "amiga do ambiente" e com tecnologia comprovada, pode também ser uma solução atraente do ponto de vista económico.

Importa ainda realçar que estes combustíveis são um recurso endógeno e, como tal, oferecem garantia de fornecimento contínuo, sendo a estabilidade de preço estabelecida pelo mercado.

Enquanto o uso de lenha é bastante comum no mundo inteiro, a utilização de briquetes, pellets ou estilha de madeira em caldeiras automáticas, continua a ser uma solução ainda bastante desconhecida, apesar dos seus padrões de eficiência, emissões e conforto. A tecnologia em caldeiras a biomassa fez imensos progressos durante a última década. As emissões decaíram significativamente e a sua eficiência atingiu o mesmo nível das caldeiras a gás ou a fuelóleo. Será de notar, em todo o caso, que existe uma grande variedade de caldeiras disponíveis no mercado. Utilizadores industriais que usem caldeiras a biomassa, para eliminarem os seus resíduos, poderão ter padrões de exigência menores do que o necessário para os sistemas a aplicar em instalações residenciais ou de serviços. A selecção cuidadosa de uma caldeira de elevada qualidade é um factor essencial para a realização de um projecto com sucesso, num edifício público ou residencial.

O aquecimento com biomassa poderá ser bastante atractivo do ponto de vista económico, uma vez que a biomassa é bastante mais barata do que os combustíveis fósseis.

No entanto, os custos de investimento afectos a sistemas de aquecimento a biomassa são significativamente mais elevados do que os relativos aos sistemas de aquecimento convencionais.

A figura seguinte mostra os custos de investimento específico em sistemas de aquecimento a biomassa de várias dimensões, de acordo com a Agência de Energia da Áustria.

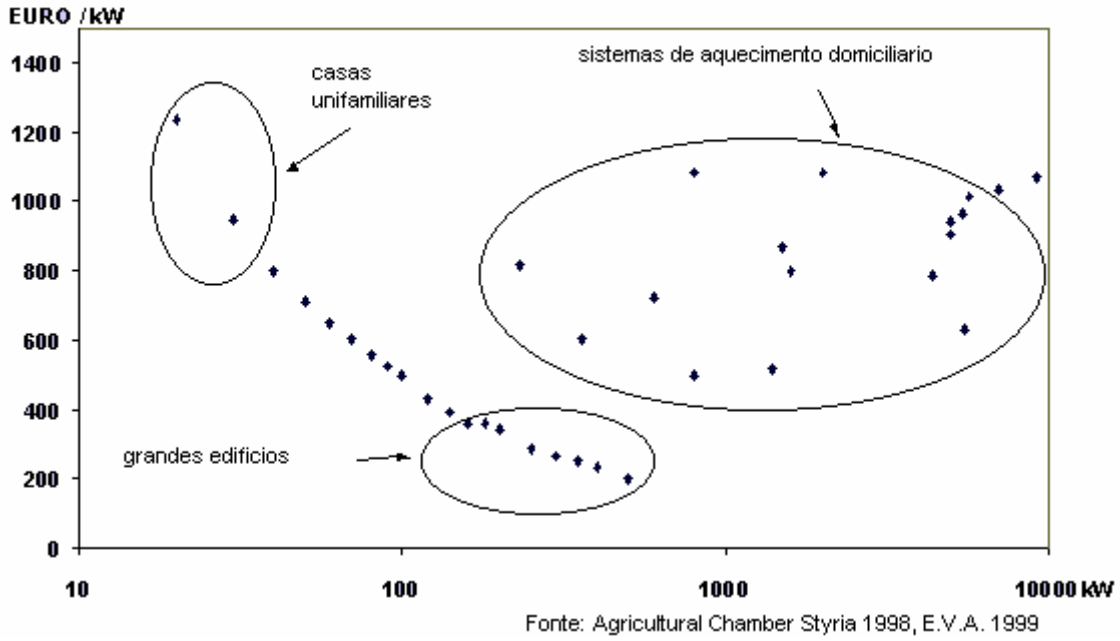

Figura 29 - Custos específicos de investimento em sistemas de aquecimento a biomassa

Verifica-se que os custos específicos de investimento são particularmente baixos no caso do aquecimento de grandes edifícios com uma elevada necessidade térmica. Os custos dos grandes sistemas de aquecimento domiciliário (District Heating), comuns em alguns países do Norte e Centro da Europa, são superiores porque normalmente necessitam de um edifício específico para a caldeira e de uma rede dedicada de distribuição de calor, geralmente bastante dispendiosa.

A opção de promover também o arrefecimento de edifícios com base em sistemas a biomassa, do ponto de vista económico não é ainda competitiva com os sistemas mais convencionais.

Quando se fala em impacte ambiental, é do conhecimento comum que queimar madeira liberta muito fumo. No entanto, isto não é verdade quando se queima biomassa em caldeiras de alta tecnologia.

Para além disso, as emissões libertadas pelas caldeiras não são o único factor ambiental a considerar. A produção e o transporte do combustível representam valores consideráveis de poluição que é necessário ponderar num balanço ambiental. O ciclo de vida das emissões a seguir apresentado foi calculado com base no GEMIS, uma base de dados desenvolvida para análise do ciclo de vida das emissões.

Os resultados são baseados no estudo de caldeiras tipo, utilizando combustíveis convencionais e supondo que a biomassa, neste caso pellets, é transportada por camião a uma distância superior a 300 km de distância. Incluem ainda as emissões produzidas no fabrico e reciclagem das caldeiras.

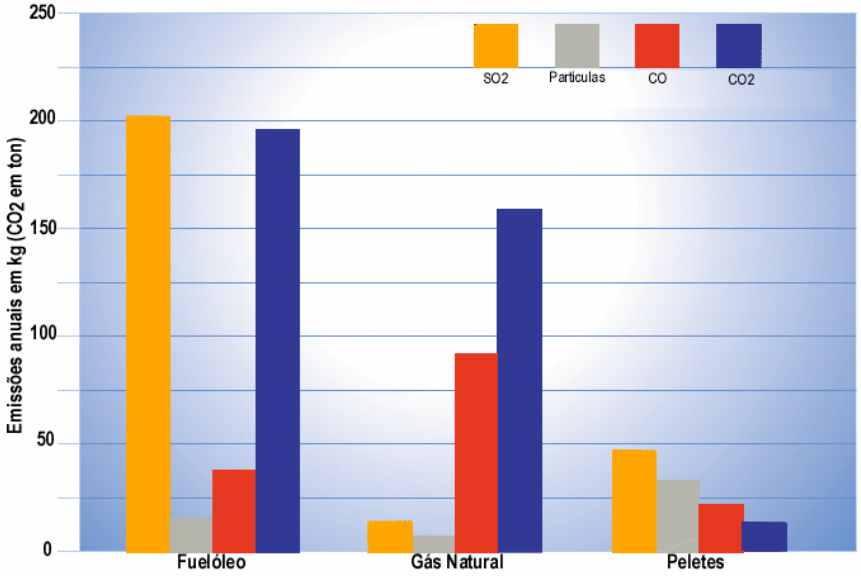

Figura 30 - Comparação do ciclo de vida das emissões

A comparação mostra que os pellets se comportam melhor em termos de CO2 e emissões de CO. As emissões de SO2 são significativamente mais baixas que para as caldeiras a fuelóleo, mas ligeiramente mais altas que para caldeiras a gás. As emissões de partículas são ligeiramente superiores, mas não atingem mais do que 30 kg por ano.

O aquecimento de edifícios é um mercado muito vasto. Em vários países como a Áustria, Dinamarca, França, Alemanha e Suécia a importância da biomassa neste mercado tem vindo a crescer nos últimos anos de forma muito significativa, existindo a percepção de que também em Portugal se irá assistir à modernização dos sistemas de aquecimento existentes com base na biomassa.

6.2. BARREIRAS TÉCNICAS, LEGAIS E ECONÓMICAS

Em Portugal, os sistemas de aquecimento a biomassa estão sobretudo relacionados com os sistemas tradicionais existentes nas zonas rurais, onde existe uma maior proximidade e facilidade em obter este tipo de combustível.

Nas habitações privadas e edifícios públicos como escolas, lares de 3ª idade, etc. também é possível encontrar exemplos de utilização de biomassa para aquecimento dos edifícios ou de parte dos mesmos, para cozinhar e também para aquecimento da água. Contudo, a biomassa é usada usualmente em equipamentos com baixa eficiência energética. Estatísticas obtidas pela Direção Geral de Energia mostram que 0.54 milhões de toneladas de madeira foram consumidas em 1999 no sector doméstico através de projetos de pequena ou média dimensão para aquecer partes de edificações, cozinhar ou aquecimento de água (Altener, 2003).

No início dos anos 90, através do programa VALOREN, alguns municípios instalaram sistemas de aquecimento a biomassa em edíficios públicos, tais como escolas localizadas em meios rurais que ainda hoje estão a funcionar. Nestes edifícios existem mais frequentemente dois tipos de sistemas de aquecimento: de pequena dimensão (com lareiras com capacidades entre 5 e 10kW) e de maior dimensão com pequenas caldeiras (40 a 100kW) para aquecimento central.

As pessoas envolvidas num projecto para aquecimento com biomassa devem receber informação detalhada sobre o mesmo, pois o cepticismo sobre as novas tecnologias constitui a principal barreira à sua implementação. O grupo de pessoas envolvidas inclui o investidor, os potenciais utilizadores do edifício, vizinhos e autoridades públicas. Arrancar com um projecto de aquecimento central a biomassa numa comunidade onde nunca foi visto um sistema semelhante a funcionar, não é uma tarefa fácil e requer um grande esforço de informação e sensibilização das pessoas envolvidas. No entanto, é uma tarefa recompensadora, pois poderá desencadear o aparecimento de outros projectos idênticos.

No entanto, os custos de investimento afectos a sistemas de aquecimento a biomassa são significativamente mais elevados do que os relativos aos sistemas de aquecimento convencionais.

Os métodos de cálculo estão preparados para países em que este tipo de sistema é mais comum (Suécia, Áustria, Alemanha, etc.), sendo que o clima do nosso país e o ambiente tecnológico industrial são substancialmente diferentes.

De uma forma geral, as principais barreiras ao desenvolvimento de sistemas de aquecimento com biomassa sólida em grandes edifícios são os seguintes:

- Falta de *know-how*, experiência e informação;
- Receio dos investigadores, técnicos e políticos em apostar em projetos inovadores;
- Mercado de biomassa pouco consolidado: não existe fileira bem definida para a BFR, *pellets* e briquetes;
- A existência de exemplos mal sucedidos originou a sua substituição por sistemas abastecidos com outros combustíveis, como por exemplo o gás natural;
- Manuseamento da biomassa mais difícil do que outros combustíveis;
- Não existe por parte da administração central uma politica de incentivo à utilização de biomassa em detrimento de outros combustíveis utilizando, por exemplo, taxas de IVA diferenciadas;
- Os mercados de sistemas de aquecimento a gás e petróleo, tal como os ares-condicionados foram crescendo mais rápido que o mercado de aquecimento com lenha ou biomassa.

Apesar de não ser fácil de introduzir esta tecnologia em grandes edifícios espera-se que, especialmente a nível municipal e com a colaboração e esforço das agências de energia e ambientais regionais que algumas caldeiras convencionais existentes pode

ser alterado para a biomassa e que alguns sistemas de aquecimento a biomassa podem ser instalados em novos edifícios, especialmente se for possível demonstrar os benefícios económicos e ambientais a utilização desta tecnologia.

No entanto, alguns dos principais obstáculos podem ser ultrapassados a fim de obter um impacto positivo a longo prazo sobre o desenvolvimento do mercado, implementando as seguintes medidas:

- Incentivar projetos arranque, fornecendo informações e assistência técnica e através do apoio ao desenvolvimento de tecnologias de alta qualidade para o aquecimento de biomassa, incluindo tecnologias para a valorização energética de resíduos agrícolas;

- Divulgar informações sobre projetos-piloto bem sucedidos;

- Criar a base para garantir um suprimento contínuo de biocombustível;

- Estabelecer medidas políticas para melhorar os incentivos financeiros e fiscais. Estimular a economia local é uma questão importante para todas as regiões. Alguns organismos locais participam já em programas como a Agenda 21 ou outros programas ambientais. Nestes casos, projectos inovadores, como os que vamos tratar, podem ser muito bem-vindos e activamente apoiados.

- Reforçar a cooperação internacional na experiência, difusão e acompanhamento em aquecimento a biomassa;

- Definir padrões de qualidade para a biomassa (incluindo resíduos da indústria agrícola).

6.3. FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO A BIOMASSA

Os sistemas modernos de aquecimento a biomassa trabalham de forma similar aos sistemas de aquecimento convencionais a fuelóleo ou gás, sendo a maior diferença entre a operação de uma caldeira a biomassa e a fuelóleo está na necessidade da remoção periódica das cinzas resultantes da combustão. Em caldeiras que não

possuam um sistema automático de limpeza do permutador de calor, necessita também de limpeza periódica da caldeira devido à acumulação de cinzas volantes (CBE, 2002).

É importante calcular correctamente a necessidade energética do edifício logo no início do projecto, pois este valor assume grande importância, quer na economia, quer no próprio funcionamento da central. No caso de um sistema de aquecimento a biomassa ir substituir um sistema já existente, a quantidade de combustível consumido no sistema anterior é a melhor base de cálculo para determinar as necessidades de combustível e a potência a instalar. No entanto, a potência a instalar pode não corresponder à potência instalada anteriormente. Assim, a potência a instalar pode ser calculada dividindo a necessidade anual de energia pelo número de horas cheias que correspondem ao clima local e ao tipo de edifício (CBE, 2002)..

Se o sistema vai ser instalado num edifício novo, a energia térmica e a necessidade energética deverão ser calculadas a partir dos dados de insolação, áreas de superfície a climatizar e necessidades de água quente actuais, e não com base em antigos valores padrão que poderão encontrar-se desactualizados.

Uma forma fácil para comparar os custos dos diferentes sistemas de aquecimento, é recorrer ao método de cálculo VDI 2067, onde também poderão ser comparados os custos totais de aquecimento a partir de biomassa com os custos de outros sistemas.

De acordo com a experiência sueca, cerca de 20 a 25% do investimento de um sistema de aquecimento a biomassa (num edifício já existente) é relativo ao seu sistema de armazenamento e alimentação de combustível. Uma caldeira automática que inclua um sistema simples de limpeza dos gases e o restante equipamento normalmente existente na casa da caldeira, é responsável por cerca de 50% dos custos. O remanescente, normalmente inferior a 30%, pode dividir-se em partes iguais entre o trabalho de instalação, o projecto, administração, supervisão e obtenção de autorizações para o funcionamento, etc.

6.3.1. Tipos de Combustível

Os dois tipos de combustíveis que mais se adequam a sistemas automáticos de aquecimento de edifícios são os pellets ou peletes e a estilha seca. Os pellets são um combustível ecológico uniforme e cilíndrico, que são produzidos a partir da compressão de resíduos da madeira. Não é utilizado nenhum tipo de aglutinante químico no seu processo de fabrico, apenas alta pressão e calor. Em alguns países são usados 1 a 3% de aditivos biológicos, como batata, farinha de milho ou licor negro da indústria de pasta de papel.

Figura 31 - Estilha seca (esq.) e pellets (dir.)

A energia contida nos pellets é aproximadamente 4,7 kWh/kg, o que implica que 2 kg de pellets sejam equivalentes a cerca de 1 litro fuelóleo.

É essencial que os pellets não contenham outras substâncias ou contaminações, que podem aumentar consideravelmente a quantidade de cinzas, facto que pode conduzir a problemas de operação com a caldeira. É também importante que os pellets estejam bem compactados e não se desintegrem facilmente em partículas, pois estas apresentam diferentes propriedades de combustão.

A estilha é constituída por pequenos pedaços de madeira, com um comprimento variável entre 5 e 50mm, obtidos por estilhaçamento na direcção da fibra, contendo ainda partículas mais longas e uma razoável percentagem de finos. A qualidade da

estilha depende da matéria-prima e da tecnologia utilizada na sua produção. Na Europa, é comum encontrar três tipos diferentes de estilha de madeira:

1. Estilha de resíduos da floresta, como ramos, copas de árvores ou árvores inteiras, com valor comercial reduzido. Contém uma percentagem de humidade na ordem dos 50%, o seu tamanho varia desde partículas de pó até estilha e contêm casca e folhas. Este combustível é adequado para as caldeiras que se encontram nas grandes centrais de produção de calor ("District Heating") ou de produção de energia eléctrica, como a Central Termoeléctrica a Resíduos Florestais de Mortágua (Portugal).

2. Estilha produzida nas serrações, com uma percentagem de humidade da ordem dos 40-50%, que é usada, por exemplo, na indústria de pasta e papel ou no fabrico de aglomerados e outros painéis. Esta estilha tem melhores propriedades de combustão, mas é ainda muito húmida para as caldeiras pequenas, a não ser que seja seca antes de destroçada.

3. Estilha proveniente de cortes de árvores, sem ramos e folhas, deixada a secar aproximadamente 6 meses antes do seu destroçamento. Esta estilha contém cerca de 30% de humidade e deve ser uniforme em qualidade e tamanho. Este combustível é adequado para as caldeiras instaladas em edifícios residenciais ou de serviços. Neste caso, os pedaços de madeira de maior dimensão podem causar problemas operacionais, devendo ser removidos durante a produção.

A tabela seguinte apresenta valores indicativos para os combustíveis de sistemas de aquecimento de edifícios. Os valores de densidade são relativos ao volume das pilhas de combustível, normalmente medido em m^3.

Parâmetros	Peletes de madeira	Estilha de madeira seca
Poder calorífico	17.0 GJ/ton	13. 4 GJ/ton
- por kg	4,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg
- por m^3	3077 kWh/ m^3	744 kWh/ m^3
% de humidade	8 %	25 %
Densidade	650 kg/m^3	200 kg/m^3
% de cinzas	0.5 %	1 %

Em todo caso é essencial que a qualidade do combustível esteja de acordo com as especificações da caldeira a utilizar.

Quer a estilha quer os pellets têm vantagens e desvantagens que devem ser consideradas quando se efectua a selecção do combustível.

Estilha de madeira	
Vantagens	**Desvantagens**
▪ Pode encontrar-se disponível localmente	▪ Requer maior espaço de armazenamento
▪ A sua produção estimula o emprego local	▪ Qualidade do combustível é mas difícil de assegurar
▪ Mais barata que os peletes	▪ Maior necessidade de trabalho de operação e manutenção da central

Peletes	
Vantagens	**Desvantagens**
▪ Combustível uniforme – maior confiança na operação	▪ Custos de combustível mais altos ▪ Menores benefícios para a economia local
▪ Requer menor espaço de armazenamento	
▪ Menor necessidade de operação e manutenção da central	

Um m3 de pellets contém 4 vezes mais energia do que um m3 de estilha seca, pelo que a necessidade de espaço para o seu armazenamento é bastante inferior. Algumas caldeiras disponíveis no mercado podem utilizar quer estilha quer pellets pois têm um sistema de controlo electrónico capaz de adaptar os parâmetros de combustão ao combustível seleccionado.

Esta flexibilidade na utilização do combustível pode revelar-se bastante útil e económica. Porém, neste caso, quer o armazenamento, quer o sistema de alimentação de combustível devem ser projectados tendo em consideração ambos os combustíveis.

6.3.2. Armazenamento do Combustível

O combustível pode ser armazenado numa divisão junto à caldeira, no interior do edifício a aquecer ou fora deste. Nesta última situação, o depósito pode ser subterrâneo ou encontrar-se à superfície, efectuando-se o transporte do combustível até à caldeira através de um transportador de parafuso.

Uma outra solução consiste na localização do armazém de biomassa perto do edifício e posicionado por cima de uma rampa de carregamento, que transporta o combustível até à caldeira.

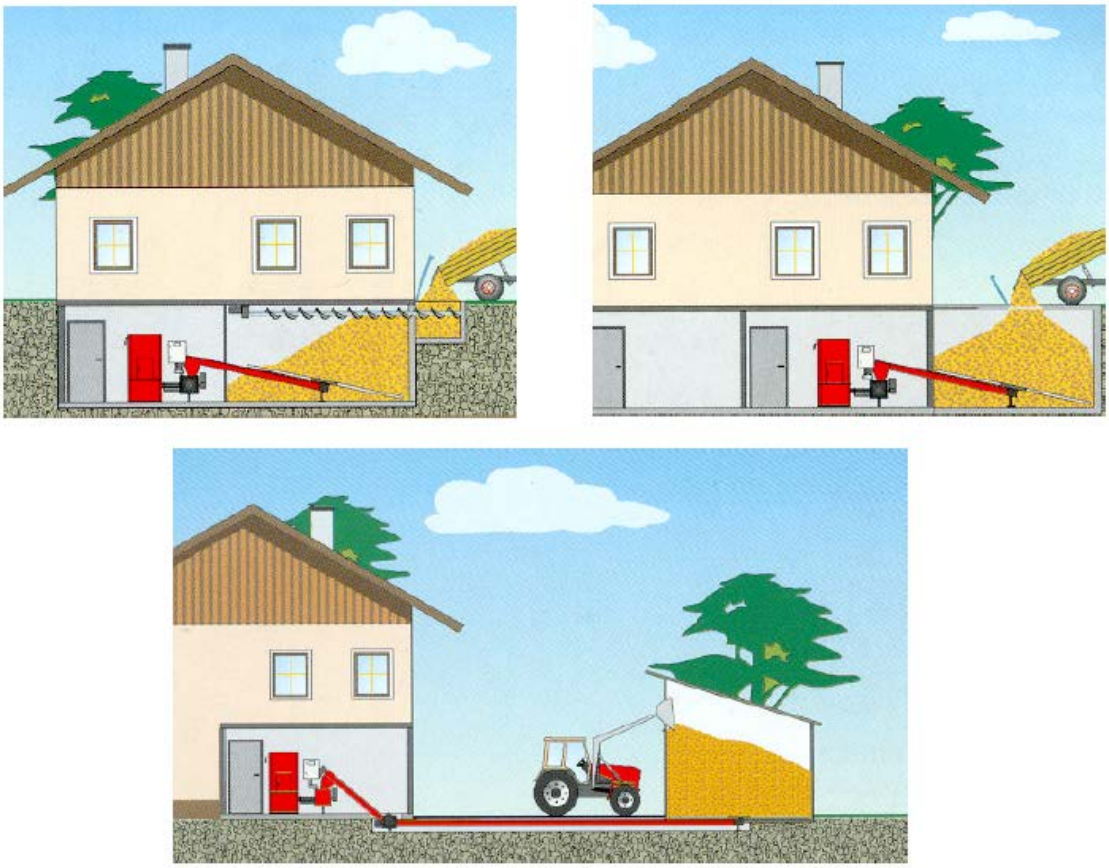

Figura 32 - Exemplos de armazenamento e transporte do combustível

O transporte de combustível desde o local de armazenamento até à caldeira pode ser realizado de diferentes formas:

- Horizontal, através de um sistema hidráulico de arrastamento: Sistema dispendioso mas com vantagens relativas à utilização do volume de armazenamento disponível (utilizado principalmente para estilha);

- Com um sistema de arrastamento rotativo: Sistema menos dispendioso que pode ser usado quer com estilha de madeira quer com pellets, mas que apresenta maior dificuldade em escoar a estilha produzida a partir de resíduos

florestais. O depósito de combustível deverá ser de secção cilíndrica ou quadrangular para melhorar o espaço de armazenamento;

- Inclinado e com um transportador em parafuso;
- Inclinado e com um sistema pneumático: Sistema mais barato, adequado para *pellets*, que permite o armazenamento dos pellets num depósito a mais de 15 m de distância da caldeira. O depósito de armazenamento deve ser longo e estreito para evitar desperdícios de espaço.

A selecção do sistema de armazenamento condiciona directamente a escolha do sistema de transporte e de entrega de combustível. No caso de silos à superfície, é aconselhada a utilização de veículos munidos de pás carregadoras para a descarga do combustível. No caso de silos subterrâneos, é necessário o recurso a veículos com báscula (traseira ou lateral) para se proceder à descarga do combustível, sendo esta a solução mais usual. Se a entrada do depósito de combustível não estiver localizada ao centro, devem ser utilizados sistemas tipo espiral para distribuir o combustível dentro deste e minimizar os espaços livres, o que encarece um pouco o sistema. É muito importante assegurar que não entre água no armazém de combustível, e no caso do armazenamento de estilha deve haver uma boa ventilação para ir permitindo a sua secagem.

Dimensionamento do armazém de combustível

O tamanho do armazém de combustível está dependente de vários factores: necessidade prevista de combustível, tipo de combustível, segurança de abastecimento, espaço disponível, capacidade do veículo de entrega, etc.

No caso de se pretender instalar um sistema de aquecimento a biomassa num edifício já construído, a maioria das vezes a solução mais eficiente a adoptar é adaptar o modo de entrega de combustível ao espaço existente para armazenamento, em vez de criar uma nova divisão para este fim.

O preenchimento de mais de 70 % do armazém é uma tarefa difícil, e é importante que um camião cheio de combustível possa ser descarregado sem haver necessidade de aguardar pelo esvaziamento do depósito. Assim, no caso de um edifício ainda em fase de projecto, o espaço mínimo reservado ao armazenamento de combustível deverá ser cerca de 50% maior do que o equivalente a uma carga completa de um camião e, ao mesmo tempo, ser suficiente para armazenar o combustível necessário para duas semanas. No caso de existir insegurança no abastecimento de biomassa, a opção por uma caldeira auxiliar, a funcionar com outro combustível, deverá ser considerada, podendo ser reduzido o espaço reservado ao armazenamento da biomassa.

Como os pellets são normalmente mais baratos durante os meses de Verão, nos sistemas de pequena dimensão poderá ficar mais económico reservar para o armazenamento deste combustível um espaço equivalente ao volume de pellets a consumir durante o ano inteiro.

É também importante planear a operação de esvaziamento do armazém de combustível em caso de necessidade.

Armazém de combustível e casa da caldeira

Devido ao risco de incêndio, a casa da caldeira e o armazém de combustível devem estar sempre separados.

É necessário verificar se o projecto contempla espaço suficiente para permitir a manutenção e reparação do equipamento. A casa da caldeira deve contar com espaço para as operações diárias de manutenção e de reparação da central. Uma das actividades que requer mais espaço é a substituição do sistema de alimentação da caldeira. No caso de não existir um sistema de limpeza automático dos tubos do permutador de calor, é também necessário assegurar que existe espaço adequado para esta operação de limpeza. Tipicamente, o espaço necessário para instalar uma caldeira de 350kWt é cerca de 20 m2.

Segurança

O armazenamento de pellets deverá ter características específicas, de modo a prevenir problemas de degradação de combustível ou até mesmo de explosão.

O espaço para armazenar os pellets deverá ser:

- Completamente seco;
- Nos sistemas em que os *pellets* são colocados no armazém, através de mangueiras ligadas ao contentor dos camiões, como acontece em países como a Áustria, Dinamarca ou Suécia, deve existir uma protecção de borracha a cobrir as paredes do armazém, de forma a amortecer o choque dos *pellets*;
- A porta deve ser do tipo corta-fogo, estreita e protegida por tábuas de madeira para resistir ao choque dos pellets;
- Não devem existir instalações eléctricas no interior;
- As paredes devem ser suficientemente fortes para resistir à pressão dos *pellets*;
- As paredes devem ser resistentes ao fogo durante 90 minutos (grau corta fogo CF 90).

Anualmente devem ser removidas as partículas acumuladas no depósito de combustível e devem ser lubrificados os rolamentos do transportador de parafuso.

Recepção do combustível

A estilha é normalmente entregue por camiões ou tractores com báscula, que despejam o combustível para a abertura do local de armazenamento.

Em alguns países Europeus, a entrega de pellets é normalmente efectuada por camiões, que fornecem este combustível através de mangueiras ligadas ao contentor.

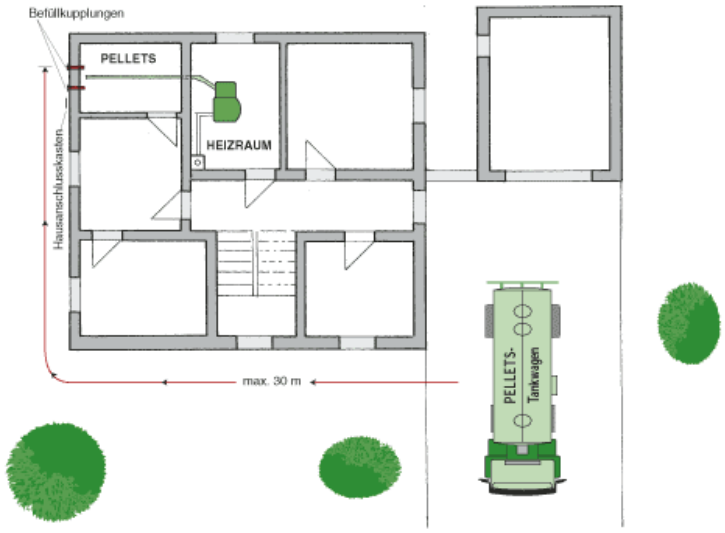

Figura 33 - Entrega de pellets

Como um m3 de pellets contém quarto vezes mais energia do que um m3 de estilha de madeira, a entrega deste combustível é menos frequente. Esta é uma das razões pela qual os sistemas a pellets têm melhor aceitação em grandes centros urbanos do que os sistemas a estilha. Outra razão é a maior necessidade de espaço dos veículos com báscula para efectuar o descarregamento de combustível, normalmente utilizados para abastecer as centrais a estilha.

Quando o combustível é descarregado através do sistema de mangueira ligada ao contentor do camião, as seguintes medidas de segurança devem ser tomadas:

- O motorista, antes de proceder à entrega do combustível, deve verificar se o local de armazenamento obedece às medidas de segurança;
- Deve ainda se a caldeira não se encontra a trabalhar para causar uma explosão;
- O ar existente no armazém deve ser sugado durante o enchimento, para evitar que o pó vá para dentro do edifício;
- Os carregamentos sobre pressão deverão ser reduzidos ao máximo, de modo a prevenir danos no local de armazenamento e a desagregação dos próprios pellets.

Quando o combustível é entregue por veículos com básculas, que se inclinam sobre a entrada do depósito, outras medidas devem ser consideradas:

- A entrega deve ser realizada de modo a provocar o mínimo de incomodo aos residentes;
- Devem ser tomadas as devidas medidas de segurança de modo a que ninguém entre pela abertura do armazém de combustível. A utilização de uma grelha de aço é a melhor protecção para esta situação, mas deve ser bastante larga para evitar problemas de entupimento de combustível (malha de 20x20 cm);
- Depois de efectuada a entrega de combustível, o espaço envolvente deve ser limpo para evitar reclamações dos residentes.

6.3.3. Caldeiras automáticas

Têm sido conseguidos grandes avanços no que respeita ao aumento da eficiência das caldeiras e redução das emissões de partículas e monóxido de carbono, obtidos particularmente por melhoramentos no desenho da câmara de combustão, na entrada de ar e nos sistemas de controlo automático do processo de combustão. Na última década, as caldeiras automáticas aumentaram a sua eficiência de 60% para 85 – 92%, e as emissões de CO diminuíram de valores da ordem das 5000 mg/m3 para 50 mg/m3 ou inferiores. De acordo com um estudo dinamarquês, o valor médio anual da eficiência energética dos sistemas de aquecimento a biomassa em edifícios de grandes dimensões (relação entre a energia contida no combustível e a energia térmica entregue ao edifício) é de 78%.

Existem porém diferenças significativas entre os equipamentos existentes nos diversos países Europeus. É da maior importância seleccionar caldeiras que se ajustem às grandes exigências do aquecimento residencial. As caldeiras convencionais, projectadas para uso industrial, podem ter valores de emissões mais significativos, uma menor eficiência e necessitarem de uma maior manutenção. A forma mais segura de obter informações sobre as caldeiras é pedir referências de projectos exemplares e visitá-los para avaliar o desempenho da caldeira.

Existem diferentes tipos de caldeiras automáticas na gama entre 50 e 500 kW, dos quais os mais comuns são:

a) Unidades compactas: São caldeiras maiores do que as versões domésticas de caldeiras a pellets. Projectadas especificamente para o aquecimento doméstico, apresentam características de grande nível de conforto e de segurança, como a limpeza automática e a ignição eléctrica.

b) Caldeiras com alimentação inferior: São caldeiras destinadas a combustíveis com baixa percentagem de humidade e de cinzas, como a estilha seca ou os *pellets*. Deve ser verificado se poder também ser utilizadas em sistemas de aquecimento residencial.

c) Caldeiras de grelha móvel em degraus: Estas caldeiras são normalmente utilizadas em instalações de grande potência (superior a 1000 kW). São equipamentos mais caros mas que permitem queimar biomassa com alto teor de humidade e de cinzas.

d) Caldeiras a fuelóleo convertidas em caldeiras a *pellets*: Esta é uma solução comum nos países escandinavos, consistindo em introduzir um queimador de *pellets* numa caldeira antiga a fuelóleo. É uma alternativa menos dispendiosa mas com algumas desvantagens, nomeadamente, o seu rendimento energético é reduzido (aproximadamente 30%), a recolha de cinzas e a limpeza da caldeira não são processos automatizados e o trabalho de manutenção é bastante intenso.

Existem ainda outros tipos de caldeira. É fundamental para a escolha deste equipamento conhecer o tipo de combustível que vai ser utilizado. A caldeira deve ser seleccionada de acordo com as características do combustível disponível.

Devem ainda ser considerados os seguintes pontos para a selecção de uma caldeira:

- Eficiência superior a 85%;
- Emissões de CO inferiores a 200 mg/m^2 e de partículas menores que 150 mg/m^3 (à carga nominal de 50%);

- Limpeza automática dos permutadores de calor e remoção automática de cinza;
- Controlo remoto da caldeira (pelo fabricante);
- Alta fiabilidade confirmada por instalações exemplares em projectos semelhantes.

Durante os meses de frio o sistema de aquecimento está sujeito a diferentes cargas, dependentes das condições climatéricas, dos utilizadores, etc.

Torna-se difícil operar com uma caldeira a biomassa em situações de carga muito variável sem surgirem problemas como, por exemplo, ultrapassar os limites permitidos para as emissões gasosas.

Algumas estratégias utilizadas passam por:

1) Existir uma caldeira a biomassa e outra caldeira auxiliar, a gás ou fuelóleo, para as situações de pico de consumo e ao mesmo tempo para servir de sistema de apoio. Neste caso, a potência da caldeira a biomassa fica reduzida a cerca de 60-70% da potência máxima necessária, o que corresponde a cerca de 90-95% das situações, dado que os picos de consumo se verificam apenas durante curtos períodos de tempo (porém isso depende do clima local – é necessário calcular a curva de duração de carga local para um correcto dimensionamento). A potência da caldeira auxiliar deverá cobrir a carga máxima de forma a garantir 100% de segurança no fornecimento de energia. Esta solução é particularmente vantajosa quando existe um sistema de aquecimento antigo capaz de cobrir as necessidades energéticas nas situações de pico de consumo.
2) Existir apenas uma caldeira a biomassa, preparada para as situações de pico de consumo, e um depósito de armazenamento para auxiliar a gerir as variações de carga e assegurar o funcionamento da caldeira nas alturas de menor necessidade de energia. Este depósito pode também ser usado para armazenar energia térmica produzida a partir de painéis solares. Esta solução tem a vantagem de só necessitar de uma chaminé. Pode também existir uma caldeira

auxiliar a outro combustível, ligada à mesma chaminé, mas que só entra em funcionamento quando a caldeira a biomassa estiver fora de operação.

3) Existirem duas caldeiras a biomassa. A segunda caldeira aumenta a segurança do fornecimento de energia e assegura o funcionamento das caldeiras nas diversas situações de carga. Esta opção pode tornar-se mais barata do que instalar uma caldeira convencional, com necessidade de armazenamento de combustível próprio (ex. fuelóleo, gasóleo) ou ligação à rede de gás.

Um correcto dimensionamento da potência a instalar depende de uma estimativa correcta da necessidade actual de energia térmica. Em edifícios existentes a carga necessária pode ser calculada dividindo a necessidade de energia anual pelo número de horas cheias, atendendo ao clima local e ao tipo de edifício.

6.3.4. Produção de água quente e integração de energia solar térmica

A combinação de uma caldeira a biomassa com um sistema de energia solar pode tornar-se numa opção bastante atractiva. Dado o baixo consumo de calor que se verifica nas estações mais quentes, o sistema solar permite complementar o sistema de aquecimento a biomassa, reduzindo a manutenção, as emissões e as perdas de energia que resultariam de uma utilização intermitente do sistema a biomassa. O depósito de água quente do sistema de energia solar pode também ser utilizado para regular as variações de carga que se verificam durante os meses mais frios, o que se traduz numa vantagem importante, quer para as situações de pico de carga quer para as alturas de baixa necessidade de consumo energético. Se for escolhido um projecto apropriado, a energia solar pode ser usada quer para a produção de água quente sanitária quer para o aquecimento. A energia solar poderá ainda ser usada para o arrefecimento ambiente através de tecnologias inovadoras que estão disponíveis no mercado. Os painéis solares podem ainda acrescentar uma mais valia ao projecto pois, dada a sua visibilidade, ajudam a associar uma imagem “verde” a este.

Os sistemas híbridos que se encontram esquematizados nas figuras seguintes, têm reduzidas perdas de calor, requerem relativamente pouco trabalho de instalação,

podem ser ampliados facilmente e permitem usar uma grande quantidade de energia solar, assegurando temperaturas baixas no circuito de retorno.

Sistema 1: Sistema de dois circuitos com armazenamento de água quente descentralizado

De acordo com as necessidades, o calor é produzido quer através dos colectores solares quer através da caldeira. O calor circula através do edifício, directamente para os radiadores e para um permutador de calor que abastece o depósito de água quente descentralizado. Este sistema é atractivo, por exemplo, para um conjunto de casas, pois permite reduzir as perdas de circulação no verão, fazendo circular a água quente apenas periodicamente (por exemplo duas vezes por dia) para carregar o depósito de água quente descentralizado.

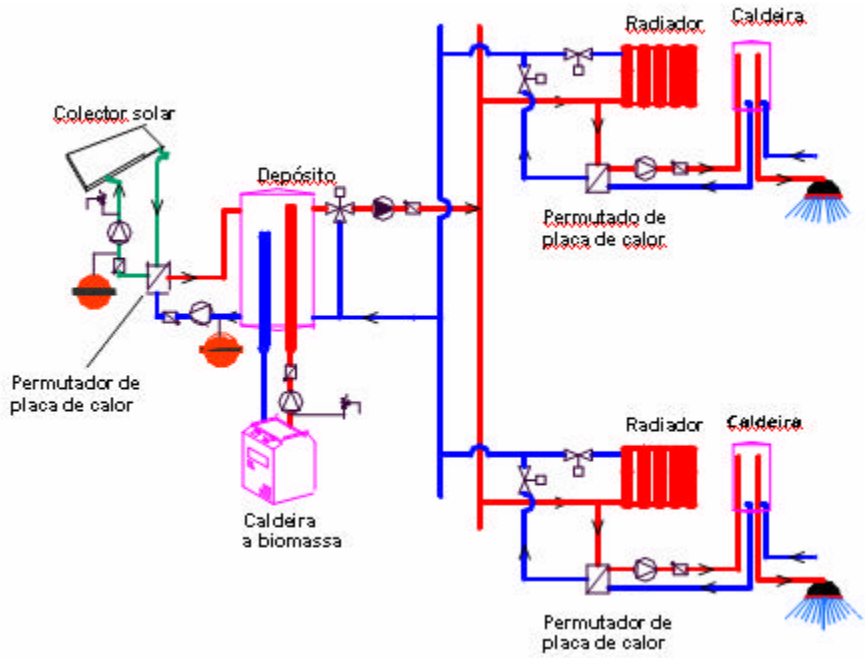

Figura 34 - Sistema de dois circuitos com depósito de água quente descentralizado

Sistema 2: Sistema de dois circuitos com produção directa de água quente

O sistema de dois circuitos com produção directa de água quente via permutador de calor é ainda mais barato que o sistema anterior. O permutador de calor está integrado na central de transferência de calor que também inclui as canalizações para a água fria e calor, o sistema de comunicação electrónico com a casa da caldeira e outros elementos hidráulicos.

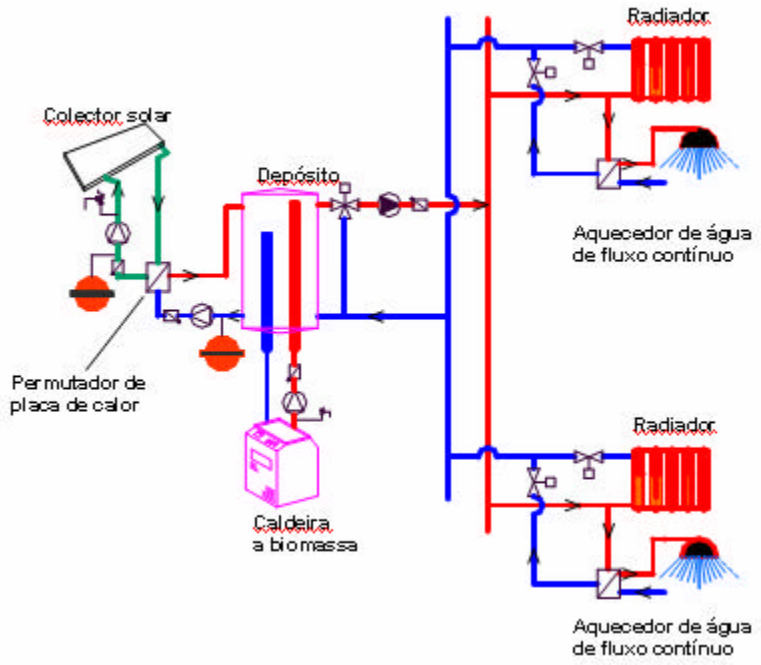

Figura 35 - Sistema de dois circuitos com produção de água quente via permutador de calor

Pontos-chave para projectar um sistema combinado de energia solar e biomassa

1. Projecto: É importante considerar a integração do sistema de energia solar numa fase inicial do projecto, de modo a permitir a sua adaptação. Os colectores solares podem substituir directamente parte de telhado sendo relativamente baratos e mais elegantes do que os colectores colocados por cima deste.

2. Ligação hidráulica dos colectores: Os colectores solares deverão estar ligados de acordo com o princípio de fluxo baixo (a pressão hidraúlica de carga não deve exceder 10-18 kg/m2). Isto conduz a maiores diferenças de temperatura no colector, menores perdas de calor, menor energia para a bombagem, menores tubagens e uma maior homogeneidade na temperatura no depósito de armazenamento. Os colectores devem

ainda ser ligados em série e não em paralelo. O balanço hidráulico deverá ser efectuado através de um dimensionamento correcto em vez de utilizar válvulas extras, etc.

3. Armazenamento de energia térmica: O armazenamento da água quente, se possível, deve ser feito apenas num depósito, pois fica mais económico e tem menores perdas térmicas. O depósito deve estar bem isolado e localizado próximo do colector. Deve-se assegurar reduzidos caudais de água para garantir uma grande diferença de temperatura entre a parte superior e inferior do colector, para melhorar a sua eficiência.

4. Orientação dos colectores: Normalmente um sistema solar capta o máximo de radiação solar disponível (em termos de energia captada por ano) quando é orientado a sul e tem uma inclinação que normalmente corresponde à latitude menos 5 ou 10º. Por vezes escolhe-se uma inclinação dos colectores superior à latitude em 5 ou 10º à da latitude para favorecer a captação de energia solar durante o Inverno.

5. Dimensionamento do sistema solar: É essencial efectuar uma estimativa correcta das necessidades de energia térmica. Por razões económicas, os colectores devem ser dimensionados para cobrir perto de 90% das necessidades de água quente no verão. Para o dimensionamento da área dos colectores e do depósito é essencial efectuar de diversas simulações. Foi desenvolvida uma ferramenta de software para projectar e fazer a avaliação económica de sistemas combinados de energia solar e biomassa, com o apoio da Comissão Europeia.

6.3.5. Operação e manutenção

Uma condição prévia para optimizar a operação e manutenção de uma central é a escolha adequada da potência da caldeira a instalar. O dimensionamento correcto leva à optimização das condições de operação, e reduz a necessidade de remover as cinzas, limpar a caldeira e reduz as quebras de rendimento que resultam de uma baixa produção.

O tempo de trabalho que os operadores necessitam de dedicar à central vai depender de vários factores, nomeadamente se a recepção de combustível pode ser organizada sem a sua presença, se o combustível causa interrupções no sistema de alimentação, se parte da supervisão pode ser efectuada por controlo remoto, etc.

As actividades de acompanhamento da central incluem:

- Controlo visual da caldeira (duas vezes por semana);
- Ajustes, manutenção e tratamento de pequenos problemas de operação;
- Aquisição de combustíveis;
- Controlo e remoção da cinza.

Um estudo dinamarquês refere os seguintes valores, relativos ao tempo médio de trabalho necessário em centrais de aquecimento a biomassa de edifícios de grande dimensão na Dinamarca:

	Tempo médio de trabalho
Centrais a peletes	3,0 horas por semana
Centrais a estilha	4,4 horas por semana

Naturalmente que o tempo necessário para a supervisão de uma central depende da sua dimensão e do consumo de combustível. Sabendo o consumo de combustível e a dimensão da central é possível estimar o tempo necessário de operação em função da potência instalada. Como orientação podem ser utilizados os seguintes valores:

Tipo de Central	Tempo por consumo de combustível	Tempo por potência da caldeira
Peletes	4 min/GJ	70 min/semana por 100 kW
Estilha	5 min/GJ	110 min/semana por 100 kW

É importante sublinhar que os tempos referidos no quadro anterior não equivalem aos tempos, suplementares que são consumidos nas centrais a biomassa, quando comparados com outras centrais.

Existem medidas que podem ser consideradas para minimizar o tempo de trabalho na central, entre as quais podemos mencionar:

- Subcontratar as tarefas de operação e manutenção a uma empresa que preste serviços na área da energia;
- Automatizar o sistema de remoção de cinzas;
- Automatizar a limpeza dos permutadores de calor;
- Deixar ao cuidado do fornecedor de combustível a gestão da sua entrega.

Podem ainda ser evitados muitos problemas se os operadores da central receberem instruções do fabricante, do instalador ou do consultor na fase de arranque da central. Estas instruções devem incluir:

- Rotinas diárias;
- Erros típicos;
- Resolução de problemas;
- Contacto das pessoas adequadas para obter aconselhamento;
- Instruções de arranque da central;
- Afinação da combustão.

As cinzas resultantes da combustão da madeira não são perigosas e são frequentemente usadas como fertilizantes. Normalmente, nas zonas urbanas, podem ser depositadas com os outros resíduos urbanos, devendo no entanto ser verificado o regulamento local.

A composição média típica das cinzas é a seguinte:

Componentes da cinza	SiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O
(% de peso)	24,6	46,6	4,8	6,9	0,5	3,8

Fonte: Obernberger, 1997

6.4. ASPECTOS A TER EM CONTA NA AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO

A aquisição do equipamento deve ser preparada numa fase inicial do projecto, mas não antes de se ter a certeza da sua viabilidade. Os contactos com os vários fornecedores não devem ser realizados antes de se efectuar o primeiro desenho do projecto e de ser conhecida uma primeira reacção positiva do futuro cliente. Os primeiros contactos não devem ser muito formais, mas convém esclarecer logo o que se procura. Deve ser apresentada a informação básica necessária de modo a clarificar o fornecedor e a poder desencadear um possível negócio, levando o fornecedor a despender algum tempo com a proposta, incluindo fornecer um primeiro orçamento.

Informação mínima a fornecer:

- Necessidade de calor;
- Tipo de combustível e teor de humidade;
- Tamanho do depósito de combustível e a sua localização (dentro ou fora do edifício);
- Disponibilidade de espaço para a casa da caldeira (dentro ou fora do edifício);
- Limites das emissões de acordo com o regulamento local (se nenhum regulamento local existir, as emissões de CO não devem exceder 200 mg/Nm^3 e as partículas 150mg/m^3, à carga nominal).

Informação mínima a obter do fornecedor:

- Limites das responsabilidades;
- Desenhos e projectos dos equipamentos;
- Orçamento inicial e condições de entrega;
- Contactos, nomes e números de telefone de outros clientes com centrais semelhantes.

Normalmente considera-se a caldeira como sinónimo de uma central a biomassa, o que pode trazer alguma confusão. A caldeira é um componente importante, mas um grande número de outros componentes constituem também uma central: o depósito

de combustível, a entrada de combustível, os transportadores de combustível, o dispositivo de alimentação de combustível, a bomba de circulação e transporte, o sistema de pressurização, o equipamento para a limpeza da chaminé, canais para o escoamento do gás, equipamento de controlo de partículas, contentores de cinza e de partículas, ligações a quadro eléctrico, controlo do equipamento, casa da caldeira e medidores de calor.

Resumindo, um grande número de componentes forma uma central, pelo que uma central tem obviamente que ser projectada. A primeira questão que surge é como devem ser comprados os vários elementos e quem é a pessoa ideal para coordenar e ficar responsável pelas várias entregas.

Relativamente à compra do equipamento existe um importante conceito chamado projecto "chave na mão", que significa comprar uma central pronta a entrar em funcionamento. À partida esta opção implica maiores custos do que a compra separada dos vários componentes, mas tem a vantagem de ser uma solução integral e ser adquirida em vez de vários componentes técnicos diferentes. A garantia desta solução integral pode ser acordada com o fornecedor. Caso se opte por adquirir componente a componente, existe o risco de várias partes não se ajustarem convenientemente, podendo tornar-se mais difícil apurar e exigir as responsabilidades, em caso de mau funcionamento do sistema.

6.5. REGULAMENTOS E INCENTIVOS

6.5.1. Regulamentos

A regulamentação térmica de edifícios adoptada em Portugal assenta em dois regulamentos: o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) e o RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios).

O RCCTE, publicado no Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro, estabelece os requisitos para a grande maioria dos edifícios em que não há consumos energéticos significativos. Embora se aplique a todos os edifícios dirige-se, sobretudo, aos edifícios

residenciais e pequenos edifícios de serviços. Este regulamento impõe que a envolvente dos edifícios tenham níveis mínimos de isolamento térmico nas paredes, pavimentos e coberturas, bem como sombreamentos no verão, de modo a que quem quiser climatizar esses edifícios, para garantia de um nível adequado de conforto, o possa fazer sem consumos exagerados.

O RSECE, publicado no Decreto-Lei nº 118/98 de 7 de Maio, estabelece regras a ter em conta no dimensionamento e instalação dos sistemas energéticos de climatização em edifícios ou zonas independentes, e é aplicável a todos os equipamentos, sempre que se verifique uma das condições seguintes:

- A potência térmica nominal de aquecimento ou de arrefecimento seja superior a 25 kW;
- A soma das potências térmicas nominais para aquecimento e arrefecimento seja superior a 40 kW.

6.5.2. Incentivos

Em Portugal, existe a Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético e Racionalização de Consumos (MAPE), estabelecida no âmbito do Programa Operacional da Economia (POE), criado pela Portaria nº 198/2001, de 13 de Março, recentemente sujeito a alguns ajustamentos, através da Portaria nº 383/2002 de 10 de Abril, tem por objectivo proporcionar apoios dirigidos à produção de energia eléctrica e térmica por recurso a energias novas e renováveis, à utilização racional de energia e à conversão dos consumos para gás natural.

7. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA ÁREA DE ESTUDO

Antes de fazer a análise do consumo de energia importa caracterizar a estrutura populacional dos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca que se irá refletir no tipo de edifícios existentes e respetivos consumos energéticos.

Quadro 12 – Número de habitantes e número de edifícios nas Freguesias dos Concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca

Concelho	Freguesia	Habitantes (nº)	Edifícios (nº)
Almeirim	Almeirim	12812	4355
	Benfica do Ribatejo	3067	1544
	Fazendas de Almeirim	6949	3102
	Raposa	548	357
Alpiarça	Alpiarça	7702	3473
Chamusca	Carregueira	2020	1199
	Chamusca	3360	1603
	Chouto	577	542
	Parreira	915	500
	Pinheiro Grande	939	527
	Ulme	1277	729
	Vale de Cavalos	1032	704

Fonte: Censos 2011

Pela análise do quadro acima, o concelho de Almeirim é o que tem o maior número de habitantes (23376 habitantes), seguindo-se o concelho de Chamusca com 10120 habitantes e Alpiarça com 7702 habitantes. O número de edifícios está em concordância com o número de habitantes, sendo Almeirim o que apresenta maior número (9358 edifícios), seguindo-se a Chamusca com 5804 edifícios e Alpiarça com 3473 edifícios.

As freguesias que integram estes concelhos têm diferentes estruturas de população, sendo as freguesias de Almeirim, Fazendas de Almeirim e Alpiarça predominantemente urbanas, as freguesias de Benfica do Ribatejo, Carregueira e Chamusca de interface urbano-rural e as restantes freguesias são predominantemente rurais.

Tal como a generalidade do nosso país, os sistemas de aquecimento a biomassa na área de estudo estão sobretudo relacionados com os sistemas tradicionais existentes nas zonas rurais, onde existe uma maior proximidade e facilidade em obter este tipo de combustível.

Nos sistemas domésticos de aquecimento, o consumo de biocombustíveis é feito utilizando normalmente lenhas em lareiras com ou sem aproveitamento de calor, sendo na sua maioria equipamentos com baixa eficiência energética. Em termos de utilização, gradualmente estes sistemas também têm sido substituídos por outros equipamentos (ar-condicionado, aquecedores, painéis solares, etc.).

A nível municipal, não existem edifícios que utilizam a energia produzida por biomassa para aquecimento. De uma forma geral, as principais barreiras à implementação dos sistemas que utilizam este tipo de combustível são os mesmos identificados para a generalidade do nosso país e que estão identificados no sub-capítulo 6.2.

8. CONCLUSÕES

O aproveitamento da biomassa para aquecimento de edifícios é uma oportunidade para dinamizar as economias rurais, criando emprego e fixando a população. Desta forma, as oportunidades que a biomassa pode oferecer não se limitam à produção de energia eléctrica, sendo o aquecimento de edifícios com biomassa ou produtos derivados um sector que tem um enorme potencial de desenvolvimento e que pode dar um contributo considerável no cumprimento das metas de produção de energia a partir de fontes de energia renovável e de redução de GEE.

As estimativas indicam que nos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca são produzidas anualmente entre 30601 a 35585 toneladas secas por ano de biomassa florestal residual nos cenários Conservador e Optimista, respectivamente, o que representa um potencial bioenergético da área de estudo entre 12% e 14% do consumo total de electricidade. Para além disso, pode gerar um rendimento adicional aos produtores, cujo lucro foi estimado entre 1,92€/t e 3,40€/t, para os dois cenários e assumindo a biomassa florestal residual com 45% de humidade.

Na última década tem-se assistido a uma transformação progressiva da ocupação do solo nas áreas agrícolas de charneca da área de estudo. Vários terrenos ocupados por culturas agrícolas têm sido convertidos em áreas florestais ou têm sido abandonados. Nestas áreas, a opção por culturas florestais energéticas pode ser uma alternativa viável às culturas florestais exploradas em modelos de silvicultura convencionais e assim aumentar a quantidade de biomassa florestal produzida. A proximidade à cidade de Almeirim e às vilas de Fazendas de Almeirim e de Alpiarça (onde estão localizados os grandes edifícios públicos) será uma vantagem porque os custos de transporte secundário serão menores.

Pela dimensão da área agrícola nos três concelhos e a sua proximidade aos aglomerados populacionais, a biomassa proveniente das culturas agrícolas pode ser um complemento importante à biomassa florestal. Importa, neste caso, fazer um estudo exaustivo das quantidades produzidas e das barreiras técnicas e económicas ao seu aproveitamento.

Em concordância com o que acontece na generalidade do território português, na área de estudo os sistemas de aquecimento a biomassa estão sobretudo relacionados com os sistemas tradicionais existentes nas zonas rurais. As principais barreiras para a ausência de projetos de aquecimento a biomassa em edifícios públicos estão relacionados com uma fileira de mercado que ainda não está muito bem definida e com falta de projetos bem sucedidos já implementados que demonstrem os benefícios económicos e ambientais da utilização desta tecnologia comparativamente a outras com o mercado mais consolidado (gás natural, petróleo, ar-condicionado).

Apesar de não ser fácil de introduzir esta tecnologia em grandes edifícios municipais, tecnicamente é possível alterar algumas caldeiras convencionais existentes para a biomassa e instalando alguns sistemas de aquecimento a biomassa em novos edifícios. Para o efeito é importante ultrapassar os principais obstáculos técnicos, legais e económicos, nomeadamente através da criação uma cadeia integrada de suprimento contínuo de combustível, da importação das informações sobre projetos-piloto bem sucedidos e as entidades públicas, que podem ser as próprias autarquias, deveriam estabelecer políticas de incentivo quer aos produtores quer a consumidores privados, estimulando assim a economia local.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHAR, 2007, Viabilidade de Culturas Florestais Energéticas, Chamusca

A.D. Little, Tecninvest, 1985, *Resíduos florestais para produção de energia em Portugal*, Direcção Geral de Energia, Lisboa, 298 pp.

ADENE & INETI, 2001, *Fórum Energias Renováveis em Portugal – Relatório Síntese*,http://egeo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/energias_renov/intro.htm AEBIOM, s/d, *Procurement of forest residues, European Biomass Association*, 16 pp, <http://www.aebiom.org/newsletter/September_October2007/Forest_residues_2007.pdf>

Altener,2003, BIOHEAT – Final Report: Promotin Biomass Heating in Large Buildings and Blocks, Vienna

Andrade, V., 2007, *Falta biomassa para produzir energia*, Jornal Expresso, 28 de Abril.

Barrientos, F., 2007, *Co-combustión de biomasa en calderas de carbón*, *in Comunicações da conferência Expobioenergía 2007*, 24-26 de Outubro, Valladolid.

Berndes, G., Hoogwijk, M., van den Broek, R., 2003, *The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies*, Biomass and Bioenergy 25, 1-28.

Blanco, C. 2012, *Metedologías para la Localización Óptima de centrales de Biomasa y Minihidráulica como Recursos Energéticos Renovables en la Comarca de el Bierzo*, Máster en Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.

Campilho, P., 2006, *Quantificação da biomassa proveniente do sector florestal com potencial aproveitamento para o sector bioenergético*, Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal e dos Recursos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 60 pp.

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2002, *Aquecimento a Biomassa em Grandes Edifícios – Aspectos Técnicos Essenciais*, Miranda do Corvo.

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2004, *Optimização das operações de exploração florestal, recolha, acondicionamento, transporte e transformação primária da biomassa florestal residual para a produção de energia, Centro da Biomassa para Energia*, Miranda do Corvo, 128 pp.

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2007a, *Supply chains of Mortágua generating plant using forest biomass residual for energy production*, Factsheet 24 – Portugal, Eubionet II, 10 pp, <http://www.eubionet.net/GetItem.asp?item=file;4872>

Centro da Biomassa para Energia (CBE), 2007b, Poder calorífico, ficheiro XLS, Centro da Biomassa para Energia, Miranda do Corvo.

Coelho, M., 1996, *Inventário florestal de um povoamento misto irregular de pinheiro bravo e sobreiro situado no concelho da Chamusca*, Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 114 pp.

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2005a, Biomass action plan, COM (2005) 628, http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_en.pdf

Comité Europeu de Normalização (CEN), 2003, *Solid biofuels – terminology, definitions and descriptions*, Prestandard Önorm CEN/TS 14588, 32 pp.

Costa, A., 1999, Carta de ocupação do solo do concelho da Chamusca, Ficheiro ArcGIS Shapefile, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Costa, A., 2007, Carta de ocupação do solo dos concelhos de Almeirim e Alpiarça, Ficheiro ArcGIS Shapefile, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Department of Trade and Industry (DTI), 2007, Working paper 1 – Economic analysis of biomass energy, Energy Technologies Unit, UK Biomass Strategy 2007, 82 pp, <http://www.berr.gov.uk/files/file39040.pdf>

Departamento de Engenharia Florestal (DEF), 1999, Inventário florestal do concelho da Chamusca, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 43 pp.

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006a, Balanço energético 2004- 2005, ficheiro XLS, http://www.dgge.pt/default.aspx?cr=6828

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006b, Potência instalada das centrais de produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, ficheiro XLS, <http://www.dgge.pt/default.aspx?cr=8583>

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006c, As energias renováveis no balanço energético, ficheiro XLS, <http://www.dgge.pt?cr=8584>

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006d, Estratégia nacional para a energia – a criação de uma rede de centrais a biomassa dedicadas, <http://www.fpfp.pt/pdfs_intro/Centrais_Biomassa.pdf>

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006f, Consumo de energia eléctrica por tipo, ficheiro XLS, http://www.dgge.pt?cr=7375

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), s/d, Totais por concelho, ficheiro XLS, <http://194.38.148.228/images/stories/estatisticas/dgrf_totaisconcelho_1980_2006.xls>

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), 2001, Povoamentos florestais, ficheiro Shape, 3ª revisão do Inventário Florestal Nacional, <http://www.dgrf.minagricultura.pt/ifn/downloads/mapasarcview/povflorestaisIFN.zip>

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), 2006, Estratégia Nacional para as Florestas, Versão preliminar para discussão pública, <http://www.governo.gov.pt/NR/rdonlyres/7D84DB0D-9CC3-48D1-A11A-21EC39AAD5FE/0/Estrategia_Nacional_Florestas_Consulta.pdf>

Directiva 2001/77/CE, de 27 de Setembro, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 283, 27 de Outubro de 2001.

Engelbrecht, P. O., 2006, Bioenergy and the forest-based industries, Fórum "European legislation to promote bioenergy", 6-7 de Novembro de 2006, Bruxelas, <http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Engelbrecht.pdf>

European Environment Agency (EEA), 2007, Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2007 – Tracking progress toward Kyoto targets, EEA report No. 5/2007, 108 pp, <http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2007_5/en>

Euroteam & Agroges, 1999, Plano de estruturação agrária do concelho da Chamusca, Relatório final (versão preliminar), 279 pp.

Faaij, A., 2006, Assessment of the energy production industry: modern options for producing secondary energy carriers from biomass, in Renewables-based technology – sustainability assessment, 2006, Dewulf, J., Van Langenhove (eds.), John Wiley & Sons, 209-230.

Federação dos Produtores Florestais de Portugal (FPFP), s/d, O pinheiro bravo, Caderno técnico.

Fernandes, L., 2007, Comunicação pessoal por telefone, CP Carga, 24 de Setembro.

German Solar Energy Society (GSES), Ecofys, 2005, Planning and installing bioenergy systems: a guide for installers, architects and engineers, Earthscan Publications, 232 pp.

Hakkila, P., 2004, Development technology for large-scale production of forest chips, Wood Energy Technology Programme, Tekes, 99 pp, <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Paattyneet/Puuenergia/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Julkaisut/Raportit/Hakkila_WoodEnergy1999-20031.pdf>

Igreja, R., 2007, Comunicação pessoal, Associação dos Agricultores de Charneca (ACHAR).

International Energy Agency (IEA), 2007a, Key world energy statistics 2007, 82 pp, <http://www.iea.org/Textbase/nppdf/free/2007/key_stats_2007.pdf>

International Energy Agency (IEA), 2007b, Biomass for power generation and CHP, IEA Energy technology essentials, 4 pp, <http://www.iea.org/dbtwwpd/Textbase/techno/essentials3.pdf>

Johansson, L., Leckner, B., Gustavsson, L., Cooper, D., Tullin, C., Potter, A., 2004, Emission characteristics of modern and old-type residential boilers fired with wood logs and wood pellets, Atmospheric Environment 38, 4183-4195.

Johansson, J., Liss, J.E., Gullberg, T., Bjorheden, R., 2006, Transport and handling of forest energy bundles – advantages and problems, Biomass and Bioenergy 30, 334-341.

Karha, K, Vartiamaki, T., 2006, Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions, Biomass and Bioenergy 30, 1043-1052.

MacDonald, A.J., 2007, Overview of systems for recovery of residual biomass, Forest Engineering Research Institute of Canada, 31 pp, <http://www.biomass.ubc.ca/docs/MacDonald07.pdf>

McKendry, P., 2002a, Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, Bioresource Technology 83, 55-63.

McKendry, 2002b, Energy production from biomass (part 2): conversion technologies, Bioresource Technology 83, 47-54.

Metacortex, 2007, Estudo do Potencial de Biomassa Florestal, Lisboa.

MADRP (2005). Biomassa e energias renováveis na agricultura, pescas e floresta – ponto da situação, Junho de 2005. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas

Netto, C., 2008, Potencial da biomassa florestal residual para fins energéticos de três concelhos do distrito de Santarém, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais, Universidade Nova de Lisboa - FCT, Lisboa.

Oliveira Baptista, F., Terra Santos, R., 2006, Proprietários florestais privados: caracterização e critérios de gestão, in Incêndios florestais em Portugal – Caracterização, impactes e prevenção, 2006, Santos Pereira, J., Cardoso Pereira, J., Castro Rego, F., Neves Silva, J., Pereira da Silva, T. (editores), ISA Press, Lisboa, 41-71.

Páscoa, F., 2001, Modelo Pbravo vs 2.0 – modelo de produção para o pinheiro bravo, Departamento de Engenharia Florestal, Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra.

Pereira, R., 2006, Viabilidade económica e ambiental da utilização de biomassa em centrais térmicas em Portugal, Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Gestão e Políticas Ambientais, Caparica, 175 pp.

RE Consulting, 2007, Renewable biomass from the forests of Massachusetts – Forest harvesting systems for biomass production, Massachusetts Division of Energy Resources & Massachusetts Department of Conservation & Recreation, <http://www.mass.gov/doer/programs/renew/bio-init-report.pdf>

Resolução do Conselho de Ministros nº1/2008, de 4 de Janeiro de 2008, Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão relativo ao período 2008-2012 (PNALE II), Diário da República nº3, I Série.

Resolução do Conselho de Ministros nº169/2005, de 24 de Outubro, Estratégia nacional para a energia, Diário da República nº204, I Série-B.

Resolução do Conselho de Ministros nº65/2006, de 26 de Maio, Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios, Diário da República nº102, I Série-B.

Rosillo-Calle, F., de Groot, P., Hemstock, S., Woods, J., 2007, The biomass assessment handbook – Bioenergy for a sustainable environment, Earthscan, Cornwall, 269 pp.

Rummer, B., 2005a, Options for transporting biomass, Forest Operation Research Unit, United States Forest Service, <http://www.srs.fs.usda.gov/forestops/presentations/biomasstransport.pdf>

Silva, R., Tavares, M., Páscoa, F., 1987, Biomassa florestal residual das operações florestais – Pinheiro bravo e eucalipto, in Floresta 8, 7-8

Silveira, S., 2001, Transformation of the energy sector, in Building Sustainable Energy Systems – Swedish experiences, Ed. Silveira, S., Swedish Energy Agency.

Simões, A., 1999, Estudo de sistemas de aproveitamento de biomassa florestal para a produção de energia, Relatório de fim de curso de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 100 pp.

Sims, R., 2002, The brilliancy of bioenergy – in business and in practice, James and James, Reino Unido, 316 pp.

Sokhansanj, S., Kumar, A., Turhollow, A., 2006, Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL), Biomass and Bioenergy 30, 838-847.

Spinelli, R., Hartsough, B., 2001, A survey of Italian chipping operations, Biomass and Bioenergy 21, 433-444.

Tomé, M., Ribeiro, F., Soares, P., 2001, O modelo GLOBULUS 2.1, Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais, Relatórios técnicos do GIMREF, nº2001, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 93 pp.

Veijonen, K, Vainikka, P., Jarvinen, T., Alakangas, E., 2003, Biomass co-firing – Na efficient way to reduce greenhouse gas emissions, Eubionet, 28 pp, <http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring_eu_bionet.pdf>

VTT, 2001, Production of forest chips in Finland, OPET report 6, 58 pp, <http://www.tekes.fi/opet/pdf/opet_rep_6forest_chips.pdf> VTT, 2007, Forest residue supply chain for CHP plants in Central Finland, Eubionet 2, 9 pp, <http ://www.eubionet.net/ACFiles/Download.asp?recID=4880>

Wall, A., Nurmi, J., 2002, The effect of logging residue removal for bioenergy on soil fertility and nutrient leaching from the organic soil layer, <http://www.brdisolutions.com/pdfs/bcota/abstracts/6/401.pdf>

Wiesenthal, T, Mourelatou, A., Petersen, J.E., Taylor, P., 2006, How much bionergy can Europe produce without harming the environment?, European Environment Agency, 67 pp, <http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en/eea_report_7_2006.pdf>

10.ANEXOS