

Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente

**Potencial da biomassa florestal residual
para fins energéticos de três concelhos
do distrito de Santarém**

Carlos Pinto Coelho Amaral Netto

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia
para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do
Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais

Orientadora
Prof. Doutora Júlia Seixas

Lisboa
2008

Agradecimentos

No decurso deste trabalho foram muitas as pessoas que tiveram a boa vontade de colaborar. Este trabalho seria certamente algo muito diferente sem a sua ajuda.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Prof. Doutora Júlia Seixas, que esteve sempre disponível para orientar a dissertação, para esclarecer dúvidas e que demonstrou enorme interesse pelo trabalho.

Agradeço à Florecha, por ter permitido realizar o trabalho de campo em Alcochete, em particular ao Eng. Rui Igreja, ao Eng. António Simões e a todos os que ajudaram nas pesagens (Nuno, Carlos, Rogério e João).

Agradeço à Associação de Agricultores de Charneca (ACHAR) por ter disponibilizado bibliografia e as cartas de ocupação florestal da área de estudo.

Agradeço também a muitas outras pessoas que deram uma preciosa ajuda e que não poderia deixar de mencionar:

Prof. Doutora Margarida Tomé (ISA/UTL)

Eng. Cláudia Sousa (CBE)

Eng. Sónia Figo (CBE)

Eng. António Sousa de Macedo (Florecha)

Eng. Misael Letras (FCT/UNL)

Eng. Joaquim Pardal (EDP Bioelétrica)

Sr. Henrique Brinco (Sócasca)

Sr. António Norte (Acartar)

Sr. José Bizarro (Transportes Bizarro)

Sr. José Sousa (Irmãos Silva e Sousa)

Eng. Leal Fernandes (CP Carga)

Eng. Jorge Henriques (Pegop)

Resumo

O mercado da biomassa florestal tem vindo a desenvolver-se bastante nos últimos anos na Europa. Portugal, apesar de ter um desenvolvimento considerável através da sua indústria florestal, apenas nos últimos anos começa a encarar as oportunidades que este recurso pode oferecer. Através de um concurso público lançado em 2006, a meta para a produção de electricidade a partir de biomassa florestal foi estabelecida em 250 MW_e, sendo anteriormente de 150 MW_e.

O presente trabalho tem três objectivos: 1) quantificar a produção de biomassa florestal residual nos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca; 2) analisar a disponibilidade de biomassa florestal para quatro locais seleccionados no distrito de Santarém e para duas centrais em funcionamento (CAIMA e Pego); e 3) avaliar a viabilidade económica da co-combustão de biomassa florestal com carvão na central do Pego.

A produção de biomassa florestal nos três concelhos estudados foi estimada em 30 601 a 35 585 toneladas secas por ano. O contributo real para as necessidades anuais em biomassa é de 2-17%, 16-23% e 5-11% para as centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, respectivamente, admitindo um preço da biomassa de 25,4 €/t (45% de humidade). Estimou-se ainda que a co-combustão de biomassa na central do Pego é atractiva para custos de licença de emissão a partir de 16 €/tCO₂ e para preços de biomassa florestal residual inferiores a 30 €/t (45% de humidade).

Abstract

The woody biomass market has been evolving vigorously in the past few years in Europe. Portugal, although it has a considerable development due to its forestry industry, only now starts to face the opportunities this resource has to offer. Through a tender launched in 2006, the target for electricity production with woody biomass has been set at 250 MW_e, whereas it was previously at 150 MW_e.

This paper has three objectives: 1) to quantify the production of forest residues in the counties of Almeirim, Alpiarça and Chamusca; 2) to analyze the availability of woody biomass for four selected sites in the district of Santarém and two power plants already working (CAIMA and Pego); and 3) to evaluate the economic feasibility of co-combustion of woody biomass with coal at Pego's power plant.

The production of woody biomass in the three counties studied has been estimated at 30 601 to 35 585 dry tons per year. The real contribution of the study site was estimated to be 2-17%, 16-23% and 5-11% of the yearly biomass needs of Rio Maior, CAIMA and Pego power plants, respectively, assuming a biomass price of 25,4 €/t (45% moisture content). It was also estimated that co-combustion of biomass at Pego's power plant could be attractive for costs of emission allowances from 16 €/tCO₂ and biomass prices under 30 €/t (45% moisture content).

Índice de Matérias

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE DE MATÉRIAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE QUADROS	10
LISTA DE NOTAÇÕES E SÍMBOLOS	12
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL PARA FINS ENERGÉTICOS.....	17
2.1. SITUAÇÃO DA BIOENERGIA NA EUROPA	20
2.2. INCENTIVOS À PRODUÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DA BIOMASSA.....	22
2.3. SITUAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL EM PORTUGAL	24
2.3.1. A floresta portuguesa	24
2.3.2. Produção de biomassa florestal residual.....	26
2.3.3. Aproveitamento da biomassa florestal	27
2.3.4. Política energética para o aproveitamento de biomassa florestal residual em Portugal	28
2.4. TENDÊNCIAS FUTURAS PARA A BIOMASSA FLORESTAL	31
3. SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL	33
3.1. PRODUÇÃO	33
3.1.1. Gestão dos povoamentos florestais.....	33
3.1.2. Actividades industriais	35
3.1.3. Gestão municipal	35
3.2. LOGÍSTICA.....	36
3.2.1. Transporte primário	36
3.2.2. Processamento.....	36
3.2.3. Transporte secundário.....	41
3.3. SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL	43
3.3.1. Trituração no carregadouro	43
3.3.2. Trituração no terreno.....	44
3.3.3. Trituração na unidade consumidora	45
3.3.4. Trituração no terminal	45
3.4. TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO	45
3.4.1. Combustão.....	46
3.4.2. Gaseificação	47
3.4.3. Pirólise.....	48
4. SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL..	49
4.1. IMPACTES AMBIENTAIS.....	49
4.2. IMPACTES NA ECONOMIA	54
5. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL	58

6. AVALIAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL PARA FINS ENERGÉTICOS À ESCALA LOCAL.....	64
6.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	64
6.1.1. Caracterização geral.....	64
6.1.2. Caracterização florestal.....	68
6.2. METODOLOGIA	69
6.2.1. Quantificação da biomassa florestal residual potencial.....	70
6.2.2. Análise da disponibilidade de biomassa florestal residual.....	76
6.2.3. Análise da viabilidade económica da co-combustão na central do Pego	88
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	90
7.1. QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL POTENCIAL.....	90
7.2. DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE BIOMASSA FLORESTAL RESIDUAL.....	94
7.2.1. Custo das operações de exploração de biomassa florestal residual	94
7.2.2. Determinação das áreas de abastecimento	96
7.2.3. Construção das curvas de oferta anuais	98
7.2.4. Determinação do contributo da área de estudo para a produção de electricidade	101
7.2.5. Determinação dos raios de abastecimento	102
7.2.6. Determinação do lucro médio da biomassa florestal residual para o produtor	104
7.2.7. Derivação de uma carta de acessibilidade à biomassa florestal residual.....	105
7.3. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DA CO-COMBUSTÃO NA CENTRAL DO PEGO	106
8. LIMITAÇÕES.....	108
9. CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS	112
ANEXO I	122
ANEXO II.....	123

Índice de Figuras

Figura 2.1 Contribuição das várias fontes de energia para a produção mundial de energia primária em 1973 e 2005 (IEA, 2007a)	18
Figura 2.2 Distribuição do eucalipto, pinheiro bravo e sobreiro em Portugal continental (Fonte: DGRF, 2001).	25
Figura 3.1 Esquema geral dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual.	33
Figura 3.2 <i>Skidder</i> de cabo (esq.) e <i>forwarder</i> (dir.) (RE Consulting, 2007).	36
Figura 3.3 Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas (Fonte: www.barkdelivered.com).	38
Figura 3.4 Esquema de funcionamento dos trituradores de facas de disco (esq.) e de tambor (dir.).	38
Figura 3.5 Estilha resultante de uma trituração com martelos (Fonte: www.bmandm.com).	39
Figura 3.6 Triturador de martelos fixos (esq.) e triturador de martelos livres (dir.) (Fonte: www.gemacosales.com).	39
Figura 3.7 Crivagem de estilha proveniente da trituração de cepos.	40
Figura 3.8 Máquina para de produção de fardos (RS2000) montada num <i>forwarder</i> (Fonte: Hakkila, 2004).	41
Figura 3.9 Descarga de estilha de um contentor em camião com báscula (Fonte: Rummer, 2005a).	42
Figura 3.10 Trituração de BFR no carregadouro.	44
Figura 3.11 Trituração de BFR produzida num povoamento tradicional de choupo..	44
Figura 3.12 Trituração no terminal.	45
Figura 5.1 Representação da oferta potencial (a verde) e oferta real (a vermelho).	59
Figura 5.2 Esquema geral da metodologia para a avaliação das diferentes categorias de potencial de biomassa e respectivas condições.	62
Figura 6.1 Localização da área de estudo.	64
Figura 6.2 Carta topográfica da área de estudo.	65

Figura 6.3 Carta litológica da área de estudo (Euroteam & Agrogas, 1999).....	66
Figura 6.4 Precipitação (Abrantes, Almeirim e Chouto) e temperatura médias (Abrantes) mensais para o período de 1976-2006 (SNIRH, 2007).....	66
Figura 6.5 Carta de ocupação do solo da área de estudo (Costa, 1999; 2007).	67
Figura 6.6 Ocupação florestal da área de estudo (Costa, 1999; 2007).	68
Figura 6.7 Esquema geral dos objectivos e sub-objectivos do trabalho.....	69
Figura 6.8 Método de pesagem da BFR com recurso a uma balança romana.	72
Figura 6.9 Esquema da metodologia implementada para a avaliação das disponibilidades de BFR para os povoamentos de pinheiro bravo.	74
Figura 6.10 Características das parcelas analisadas no estudo do CBE (2004).....	77
Figura 6.11 Localização dos pontos de consumo de BFR.	80
Figura 6.12 Modelo para automatização do cálculo das áreas de abastecimento por custo.	81
Figura 6.13 Representação do lucro total (LT) e do custo total (CT).	87
Figura 7.1 Comparação entre a equação de biomassa obtida com duas equações da bibliografia.	91
Figura 7.2 Custos de transporte secundário (€/t) em função da distância entre o carregadouro e a unidade consumidora.....	95
Figura 7.3 Estrutura de custos da BFR para o cenário Optimista (%/t.km)	96
Figura 7.4 Estrutura de custos de BFR para uma distância de transporte secundário de 35 km e para o cenário Optimista.....	96
Figura 7.5 Carta das áreas de abastecimento de BFR em função da classe de custo para a central de Vila Moreira e para o cenário Conservador.....	97
Figura 7.6 Carta das áreas de abastecimento de BFR em função da classe de custo para a central de Vila Moreira e para o cenário Conservador.	98
Figura 7.7 Curvas de oferta anual para as centrais em estudo para o cenário Conservador.....	100
Figura 7.8 Curvas de oferta anual para as centrais em estudo para o cenário Optimista.....	100

Figura 7.9 Custo total da BFR (€/t) em função da distância de transporte secundário (km) para ambos os cenários, com as respectivas equações para as funções de custo em função da distância em linha recta.	103
Figura 7.10 Áreas de abastecimento de BFR das centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, para o cenário Conservador.....	104
Figura 7.11 Áreas de abastecimento de BFR das centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, para o cenário Optimista.....	104
Figura 7.12 Carta de acessibilidade à BFR na área de estudo.	105
Figura 7.13 Valor actualizado líquido para um projecto de co-combustão de BFR na central do Pego para diferentes preços da licença de emissão de CO ₂ , assumindo um preço da BFR de 25,4 €/t.....	106
Figura 7.14 Valor actualizado líquido para um projecto de co-combustão de BFR na central do Pego para diferentes preços da BFR, assumindo um preço da licença de emissão de CO ₂ de 20 €/tCO ₂	107

Índice de Quadros

Quadro 2.1 Poder calorífico inferior de combustíveis sólidos e líquidos (IPCC, 2000; Kopetz <i>et al</i> , 2007; Sims, 2002; Tester <i>et al</i> , 2005).....	19
Quadro 2.2 Tarifas de aquisição de energia eléctrica a partir de biomassa florestal para alguns países da UE (DL n°33-A/2007; Obernberger & Thek, 2004; Soria, 2007) ..	24
Quadro 2.3 Produção de resíduos florestais em Portugal por origem (A.D. Little & Techninvest, 1985).....	27
Quadro 2.4 Critérios e respectiva ponderação para a classificação das propostas para o concurso às centrais termoeléctricas a biomassa florestal (DGGE, 2006e)	30
Quadro 4.1 Emissões de gases com efeito de estufa nas várias fases dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual (Wihersaari, 2005).	51
Quadro 6.1 Área dos três concelhos por classe de uso do solo (em hectares) (Costa, 1999, 2007).	67
Quadro 6.2 Ocupação florestal por concelho e classe florestal (em hectares) (Costa, 1999, 2007).	68
Quadro 6.3 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.....	71
Quadro 6.4 Cenários considerados na estimativa de produção de BFR proveniente dos povoamentos de eucalipto.....	76
Quadro 6.5 Poder calorífico superior para BFR de eucalipto e pinheiro bravo (CBE, 2007b).	82
Quadro 6.6 Parâmetros utilizados no cálculo das necessidades energéticas anuais das seis centrais em estudo.....	83
Quadro 7.1 Características das três equações de biomassa ajustadas (valores de biomassa em kg ms/árvore; DAP em cm; altura em metros).	91
Quadro 7.2 Produção total de BFR de pinheiro bravo e apresentação dos valores intermédios utilizados para o seu cálculo.....	92
Quadro 7.3 Produção de BFR para os povoamentos de eucalipto estimada com base no modelo Globulus 2.1.	93

Quadro 7.4 Produção anual de BFR (t ms/ha.ano) por espécie e cenário.....	93
Quadro 7.5 Produção anual potencial de BFR (t ms/ano) por espécie e cenário.	94
Quadro 7.6 Custos de transporte primário e trituração (em €/t).....	94
Quadro 7.7 Poder calorífico inferior e preço da BFR em função da percentagem de humidade e assumindo um preço de 3,26 €/GJ (Alakangas, 2007; CBE, 2007b).....	99
Quadro 7.8 Abastecimentos potencial e real para as seis centrais em estudo para o cenário Conservador.	102
Quadro 7.9 Abastecimentos potencial e real para as seis centrais em estudo para o cenário Optimista.	102
Quadro 7.10 Lucro médio do produtor para cenários Conservador e Optimista para a central de Almeirim.....	105

Lista de notações e símbolos

BFR – biomassa florestal residual

CO₂ – dióxido de carbono

DAP – diâmetro à altura do peito

FER – fontes de energia renováveis

GEE – gases com efeito de estufa

MW_e – potência eléctrica

MW_{th} – potência térmica

PCI – poder calorífico inferior

tep – tonelada equivalente de petróleo

t ms – tonelada seca ou em matéria seca

*"It might be said that energy is for the
mechanical world what consciousness is for the
human world. If energy fails, everything fails."
(Small is beautiful, E.F. Schumacher)*

1. Introdução

Na última década tem-se assistido a um interesse crescente pelas energias renováveis. Embora este interesse tenha ganho enorme fulgor já na década de 70 quando o mundo viveu duas crises de petróleo e que actuaram como incentivo à utilização de novas fontes de energia primária, foram poucos os países que realmente mudaram o seu modelo energético. A Suécia é um caso paradigmático, tendo reduzido significativamente a produção de energia a partir de petróleo e apostado fortemente na energia nuclear e na bioenergia (Silveira, 2001). No entanto, a maior parte dos países preferiu ignorar o problema e pouco se fez para evitar futuras crises. Presentemente vivemos o que se pode admitir como a terceira crise petrolífera. A 2 de Janeiro de 2008, o preço do barril de crude atingiu o valor histórico de 100 dólares; no início de 2004, o preço do crude situava-se nos 28 dólares por barril (DOE, 2008).

O aumento do preço do petróleo tem consequências diversas mas significativas para as economias. Por um lado, e no caso de países sem recursos fósseis como Portugal, a compra de petróleo implica um aumento das importações, situação em que a balança comercial começa a pesar mais para o lado das importações. No caso português, e tendo em consideração que o consumo de energia primária a partir de petróleo representou em 2005 cerca de 59% do total (DGGE, 2006a), o aumento do preço significa um fluxo substancial de divisas para o estrangeiro, e o respectivo enfraquecimento da economia.

A situação energética portuguesa não é só marcada pelo petróleo, mas também pelas restantes fontes de energia que são importadas, nomeadamente o gás natural e o carvão. Estas três formas de energia primária chegam a representar mais de 80% no balanço energético nacional (DGGE, 2006a). Coloca-se, aqui, o problema da segurança do abastecimento e da independência energética, estando o país sujeito à volatilidade do preço do petróleo e também do gás natural e do carvão, embora em menor escala. Esta é uma das mais importantes razões para que hoje a maioria dos países esteja a apostar nas energias renováveis e na eficiência energética. Exactamente a mesma razão que levou a Suécia há 30 anos a mudar o seu paradigma energético.

Contudo, há hoje outros factores que não existiam na altura. Por um lado, existe uma maior consciencialização das sociedades, em particular de um actor crucial

que é a comunicação social, que permite encarar com maior seriedade as questões relacionadas com o consumo de energia, as alterações climáticas e o desenvolvimento sustentável. Existe o consenso na comunidade científica de que o aumento da concentração de gases com efeito de estufa (GEE) na atmosfera, em particular o CO₂, é a causa das evidências verificadas nos últimos anos (aumento da temperatura, maior frequência de cheias e secas, etc.) e que os impactes aumentarão de intensidade e frequência, tornando a redução de emissões dos GEE premente. O Protocolo de Quioto foi um importante avanço nesse sentido, embora enfraquecido pela ausência dos EUA. No entanto, a União Europeia (UE) já assumiu a sua liderança nesta questão e pretende uma redução de emissões em 20% até 2020, consideravelmente mais do que os 8% previstos no Protocolo para o período de 2008 a 2012 (CCE, 2007). A biomassa, como as restantes fontes de energia renováveis (FER), é neutra em CO₂ e a sua utilização ajuda no esforço global necessário para reduzir as emissões de GEE.

Por outro lado, existem razões inerentes à própria natureza deste tipo de fontes de energia. Assim, o facto de serem renováveis permite afirmar que a sua utilização seja um passo rumo à sustentabilidade, na acepção mais geral do termo. A exaustão do petróleo é assunto recorrente, com especialistas a indicarem o ano em que a produção atingirá o seu máximo e quando é que finalmente se esgotarão as reservas mundiais¹. Mas, muito possivelmente, o petróleo simplesmente não acabará. O efeito nefasto, contudo, não se deixa de sentir: o mercado actua de modo a que, cedo ou tarde, seja imputado um custo de escassez aos consumidores. Este facto leva a que, com o decorrer do tempo, as energias renováveis venham a ser cada vez mais competitivas face ao petróleo. O caso do gás natural e do carvão é ligeiramente diferente dadas as enormes reservas ainda existentes, embora sejam recursos finitos não renováveis para a escala de tempo humana. Assim, as energias renováveis têm uma vantagem económica inerente.

Portugal tem que produzir, em 2010, 39% de electricidade a partir de FER, meta que é a terceira mais ambiciosa da UE 15 (Directiva 2001/77 CE). Em 2005, a produção de electricidade em Portugal a partir de FER representou cerca de 19% da produção total, dos quais 10% corresponderam a hidroelectricidade (DGGE, 2006a, 2006c). A biomassa representou 22% da electricidade a partir de FER. Apesar de ter uma importância assinalável, a potência instalada em centrais dedicadas a biomassa correspondia somente a 12 MW_e, repartida pelas centrais de Mortágua (9

¹ Veja-se, a título de exemplo, o site www.peakoil.com.

MW_e) e Centroliva (3 MW_e). O presente Governo estabeleceu um aumento da meta de produção de electricidade a partir de biomassa florestal em centrais dedicadas: de 150 MW_e de potência a instalar e já licenciados, lançou um concurso público para mais 100 MW_e a instalar em quinze centrais até 2010. Até Janeiro de 2008 tinham sido atribuídos 56 MW_e, para além das duas centrais de 2 MW_e cada para as quais não houve concorrentes.

O distrito de Santarém irá, num futuro próximo, acolher um conjunto de unidades produtoras de electricidade a partir de biomassa florestal. Para além da central dedicada prevista no concurso público, e para a qual existem quatro locais possíveis, há que considerar ainda as centrais da CAIMA e do Pego. Considerou-se oportuno, por isso, avaliar a importância que três concelhos do distrito de Santarém poderão vir a ter para essas centrais, embora orientando sempre o trabalho para a perspectiva do produtor e da oferta de biomassa florestal.

O presente trabalho tem dois objectivos principais:

1. Quantificar a produção de biomassa florestal residual (BFR) potencial dos concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca;
2. Avaliar a disponibilidade da BFR, analisando, entre outros, o contributo da área de estudo para a produção de energia eléctrica.

Complementarmente, pretende-se fazer uma análise da viabilidade da co—combustão de BFR na central do Pego, considerando uma substituição de 5%.

O trabalho está estruturado em nove capítulos. O capítulo 2 deste trabalho serve de capítulo introdutório ao tema da biomassa florestal, ao seu desenvolvimento na Europa e em Portugal, e tendências futuras. No Capítulo 3 são descritos os sistemas de exploração de biomassa florestal, desde a produção à conversão de energia, sendo abordada a sustentabilidade desses sistemas no Capítulo 4. No capítulo 5 é feita uma revisão bibliográfica sobre as metodologias de avaliação da produção e disponibilidade da biomassa. No Capítulo 6 faz-se a caracterização da área de estudo e a apresentação da metodologia seguida. Os resultados são apresentados e discutidos no Capítulo 7, enquanto o Capítulo 8 aborda as limitações do trabalho e apresenta recomendações para trabalhos futuros. As conclusões são apresentadas no capítulo 9.

2. Utilização de biomassa florestal para fins energéticos

A bioenergia é a energia que deriva da biomassa, sendo esta definida como toda a matéria de origem biológica, excluindo a que está retida em formações geológicas e transformada em fósil (CEN, 2003). Pode ser classificada em três categorias principais quanto à sua forma: biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Os primeiros são constituídos pela biomassa lenhosa, biomassa herbácea, biomassa de fruta e misturas (Alakangas *et al*, 2006). Os biocombustíveis líquidos, por sua vez, englobam principalmente o biodiesel e o bioetanol. O biogás, proveniente na sua maioria da digestão anaeróbia de biomassa sólida, completa as categorias da bioenergia.

No presente trabalho, a biomassa florestal refere-se a toda a matéria florestal que é passível de ser utilizada para fins energéticos. Cabem nesta definição a rolaria, os cepos, os ramos e as folhas, embora nem todas estas fracções sejam ou devam ser utilizadas. A biomassa florestal residual (BFR) consiste na fracção da biomassa florestal que é produzida como um resíduo das operações de exploração florestal (podas, desbastes, cortes, etc.) e refere-se aos topos, ramos, incluindo folhas ou agulhas, e cepos. Este trabalho foca apenas a BFR porque esta constitui a maior parte da matéria-prima que será consumida nas centrais em estudo.

A biomassa, enquanto recurso energético, desempenha actualmente um papel de pouca importância nas economias dos países desenvolvidos, ao contrário do que já aconteceu no passado. Até 1850, era praticamente a única fonte de energia utilizada (WEC & IIASA, 1995). A Revolução Industrial despoletou não só o crescimento da produção de energia através do carvão, mas também o aumento exponencial da população e da actividade económica e, consigo, necessidades energéticas crescentes. Apesar de já haver produção de energia a partir de petróleo na primeira metade do séc. XX, só a seguir à II Guerra Mundial é que esta ganhou a relevância que ainda hoje tem na economia mundial. Nas últimas décadas pode-se constatar, no entanto, que a evolução tem sido no sentido da diversidade das fontes de energia, assumindo a energia nuclear e o gás natural maior expressão (Figura 2.1).

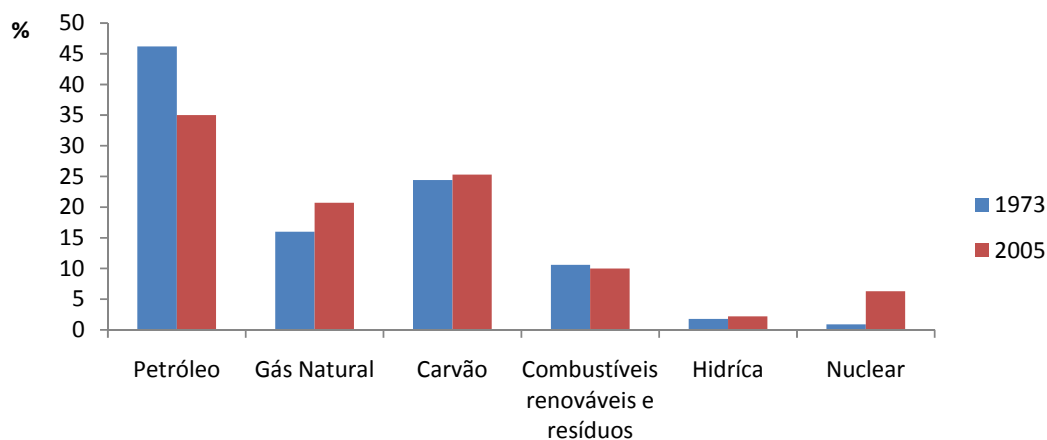


Figura 2.1 Contribuição das várias fontes de energia para a produção mundial de energia primária em 1973 e 2005 (IEA, 2007a)

O decréscimo do uso da biomassa, desde a Revolução Industrial, tem razões práticas óbvias. Por um lado, comparando a densidade energética da biomassa com a de outros combustíveis, constata-se que a sua conversão para energia é das mais ineficientes (Quadro 2.1). Quando comparada com o petróleo, é necessário um peso 4,5 vezes superior ou um volume 12,5 vezes superior de BFR para obter a mesma energia. O transporte da biomassa, especialmente no caso de rama e cepos não triturados, é particularmente desvantajoso quando comparado com o transporte de um líquido, seja por camião, navio ou conduta. A evolução para combustíveis de maior densidade energética e na forma líquida representa, assim, uma alteração natural das economias na procura de eficiência. Por outro lado, a distribuição dispersa da biomassa torna o aproveitamento deste recurso muito oneroso em comparação com algumas das suas alternativas, nas quais o recurso está concentrado em jazidas. São estas as principais causas que fazem da biomassa uma fonte de energia mais cara relativamente às suas alternativas e que transformaram a sua importância de uma situação quase exclusiva para cerca de 3,5% da produção de energia primária nos países da OCDE, em 2005 (IEA, 2007a).

É frequente a sociedade considerar a biomassa como uma fonte de energia que caracteriza os países menos desenvolvidos. A aceitação da biomassa como FER apresenta padrões distintos na Europa. Segundo um estudo realizado pela Comissão Europeia (2006), 55% dos cidadãos europeus são a favor da utilização da biomassa, sendo a energia renovável com a pior aceitação. Na análise dos resultados do inquérito por país, Portugal tem uma aceitação de 49%, enquanto que países como a Alemanha, Áustria e Dinamarca têm uma aceitação superior a

70%. Parte destas diferenças pode ser explicada pelo facto de nesses países existirem já modernas soluções de aquecimento doméstico a biomassa.

Quadro 2.1 Poder calorífico inferior de combustíveis sólidos e líquidos (IPCC, 2000; Kopetz *et al*, 2007; Sims, 2002; Tester *et al*, 2005)

Combustível	PCI (GJ/m ³)	PCI (GJ/t)	tep/t
Diesel	35,4	42,9	1,00
Biodiesel	32,8	37,3	0,87
Óleo de colza	34,3	37,5	0,87
Gasolina	31,9	42,9	1,00
Bioetanol	21,2	26,7	0,62
Biomassa florestal residual (estilha, 40% de humidade)	2,9	9,5	0,22
Pellets (8-9% de humidade)	10,2	16,9	0,39
Carvão betuminoso	-	26,6	0,62
Carvão sub-betuminoso	-	17,2	0,40
Petróleo (crude)	36,4	42,9	1,00
Gás natural	21,9	43,8	1,02

Não obstante as desvantagens inerentes às próprias características da biomassa, a energia a partir da biomassa tem ganho ultimamente uma importância significativa proveniente de todos os sectores da sociedade. Este súbito interesse na biomassa, ainda que seja um sector em que muitos países tenham já apostado há mais de duas décadas, é o resultado de um conjunto de circunstâncias que privilegiou não só a energia a partir da biomassa, mas todas as energias renováveis.

A causa mais relevante para o crescimento actual e potencial da biomassa são as alterações climáticas. Existe hoje um forte consenso na comunidade científica em admitir que a crescente concentração de CO₂ e outros GEE na atmosfera se deve à utilização de combustíveis fósseis e está a provocar o aumento da temperatura média global do planeta (IPCC, 2007). Apesar do consenso ter vindo a ser expresso desde 2001, aquando da publicação do 3º Relatório de Avaliação do IPCC, o problema adquiriu outra magnitude com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, após a ratificação da Rússia em 2005, e com o mediatismo do documentário de Al Gore, *An Inconvenient Truth*. Particularmente relevante para a combustão da biomassa é a indicação de Eggleston *et al* (2006) de que apenas as emissões de N₂O e CH₄ devem ser contabilizadas nos inventários, sendo por isso considerada uma fonte de energia neutra em emissões de CO₂. Também no mercado europeu de licenças de emissão, “a biomassa é considerada neutra em termos de CO₂” (CCE, 2004).

2.1. Situação da bioenergia na Europa

Embora a mediatização das alterações climáticas e a entrada em vigor do Protocolo de Quioto tenham contribuído para o actual *status quo*, é importante realçar que a UE, em 1997, lançou o Livro Branco para uma Estratégia Comunitária e um Plano de Acção (CCE, 1997), a demonstrar iniciativa na imposição de metas para a produção de energia a partir de FER. A política energética europeia tem avançado em três frentes distintas: na procura de competitividade, que leve ao crescimento económico e à criação de emprego; na segurança do abastecimento, reduzindo a dependência energética dos países; e na sustentabilidade, comprometendo-se com a redução de emissões de GEE. Estas três forças motrizes estão patentes tanto no *Livro Branco para uma Estratégia Comunitária e um Plano de Acção* (CCE, 1997), como na recente comunicação *Uma Política Energética para a Europa* (CCE, 2007). Embora separados por dez anos, ambos propõem objectivos concretos e ambiciosos, ainda que realistas e imperativos. Em 1997, a União Europeia estabeleceu o objectivo de atingir um contributo global das FER de 12% em 2010 (CCE, 1997).

Em 2001 surgiu uma importante directiva em matéria de energias renováveis. A Directiva 2001/77/CE estabeleceu uma meta global de 22,1% para a produção de electricidade a partir de FER em 2010, enquanto que a meta individual para Portugal é de 39%. Os dados de 2004 indicam que o contributo da energia renovável para a produção de electricidade da União Europeia (UE 15) e Portugal se situava em 14,7% e 24,4%, respectivamente (EEA, 2006).

Em 2007, através da Comunicação COM (2007) 1 (CCE, 2007), reforçaram-se as ideias subjacentes ao objectivo estabelecido em 1997, embora as alterações climáticas tenham ganho um lugar de destaque. Por um lado, reconhece-se a necessidade de revitalizar o mercado energético europeu, criando oportunidades de produção de energia regionais e locais, e de diversificar as fontes de energia. Por outro, a preocupação crescente com as alterações climáticas dão um forte impulso para o estabelecimento de três importantes e ambiciosos objectivos para 2020:

- A redução em 20% das emissões de GEE relativamente às emissões de 1990;

- Um contributo de 20% das energias renováveis para a produção de energia primária;
- A redução em 20% da produção global de energia primária.

A importância destes objectivos deve ser realçada na medida em que a União Europeia tem vindo a dar sinais aos investidores de que a aposta nas energias renováveis está incluída numa política coerente e de longo prazo.

A Comissão Europeia, consciente de que a biomassa pode dar um contributo maior para a produção de energia primária, elaborou um Plano de Acção para a Biomassa (CCE, 2005a) onde, para além de vincar a importância da biomassa no cumprimento das metas estabelecidas, estabelece um conjunto de medidas com o objectivo de promover e desenvolver a produção de energia a partir desse recurso. Entre as mais relevantes, pode-se destacar a sugestão de que os Estados-membros deverão elaborar os seus próprios planos, rever o valor do IVA no aquecimento de edifícios a biomassa, implementar e monitorizar a ajuda às culturas energéticas, e incentivar a investigação na área das biorefinarias e biocombustíveis de 2ª geração. O documento, contudo, demonstra apenas a vontade política que poderá vir a alterar a legislação futura e não apresenta medidas concretas que os Estados-membros devem implementar. De facto, em Portugal não existe até ao momento nenhuma actividade em curso para a elaboração de um plano nacional para a biomassa.

A UE tem uma política de liderança no problema das alterações climáticas e que é indissociável da sua política energética. O Protocolo de Quioto, ratificado pela Decisão 2002/358/CE do Conselho, demonstra a vontade política da UE em combater o problema. A meta de redução de emissões de GEE para o período de 2008-2012 para a UE é de 8%, relativamente aos níveis de 1990. A informação disponível para 2005 refere que nesse ano se atingiu uma redução de 2% e tudo indica que o objectivo possa ser ultrapassado (EEA, 2007).

Os mecanismos de Quioto – o mercado de emissões, a implementação conjunta e o mecanismo de desenvolvimento limpo – favorecem o desenvolvimento da biomassa. O comércio de licenças de emissão, já em funcionamento ao nível europeu e regulamentado pela Directiva 2003/87/CE, permite aos produtores de energia reduzirem as suas emissões através da co-combustão de biomassa. O mecanismo de desenvolvimento limpo e a implementação conjunta abrem o

caminho ao desenvolvimento de projectos que reduzam as emissões de GEE, considerando um cenário de referência sem o projecto. As centrais dedicadas de biomassa podem, neste contexto, ser elegíveis para reduzir as emissões de GEE e ajudar a alcançar as metas definidas.

A importância da biomassa para a Europa está patente não apenas no seu contributo actual para a produção de energia, mas também nas metas estabelecidas, salientando-se que (Kopetz *et al*, 2007):

- Apesar de em 2004 o consumo bruto de energia a partir da biomassa equivaler a 3 EJ e representar apenas 4,1% do consumo bruto total na UE 25, a biomassa representa 66% do consumo bruto proveniente de FER;

- A meta estabelecida para 2010 para a produção total de energia a partir da biomassa equivale a cerca de 5,65 EJ e corresponde a 74% do total de energia a produzir a partir de FER;

- O Plano de Acção para a Biomassa (CCE, 2005a) reviu e aumentou a meta para 6,2 EJ, o que representaria 8,5% do consumo de energia em 2005.

Ericsson & Nilsson (2006) sugerem que as metas impostas para 2010 dificilmente serão alcançadas, embora o potencial da biomassa residual estimado para UE 15, incluindo as culturas energéticas, possa chegar até 11,7 EJ/ano. A par com as metas estabelecidas, que vão no sentido de aumentar a relevância da bioenergia, estima-se que o potencial da bioenergia, que inclui os biocombustíveis, possa representar entre 15-16% das necessidades energéticas em 2030 na Europa (Wiesenthal *et al*, 2006).

2.2. Incentivos à produção de electricidade a partir da biomassa

A maior parte dos incentivos à produção de energia a partir da biomassa estão restritos ao sector da electricidade. Os incentivos à produção de electricidade podem ser classificados em quatro categorias (CCE, 2005b):

- Tarifas de aquisição (*feed-in tariffs*): consiste na introdução de um preço fixo por unidade de energia que é pago ao produtor que usa uma fonte de energia renovável e válido para um período de vários anos. Todos os fornecedores de electricidade suportam, através dos seus consumidores, os custos adicionais do regime através de um pagamento à empresa

distribuidora e proporcional ao seu volume de venda. Este sistema é o mais usual na UE, nomeadamente em Portugal, Espanha e França.

- Certificados verdes (*green certificates*): neste esquema de incentivo, os consumidores, geralmente através dos seus fornecedores de electricidade, são obrigados a ter parte do seu consumo satisfeito a partir de electricidade de FER. A consequência é a criação de um mercado concorrencial na aquisição de certificados, favorecendo os produtores que produzem electricidade mais barata. Países como a Itália, Bélgica ou Polónia adoptaram este tipo de incentivo.
- Concurso (*tender*): nos concursos públicos, o Estado abre a possibilidade de empresas concorrerem com projectos de produção de electricidade, estabelecendo um contrato com a empresa vencedora e garantindo um determinado preço. Este mecanismo aplica-se, no caso português, em conjunto com as tarifas de aquisição.
- Incentivos fiscais (*tax incentives*): consiste na redução da carga fiscal da electricidade produzida a partir de FER, aumentando a sua competitividade com os restantes produtores. É usado como um instrumento adicional no Reino Unido e na República Checa.

As tarifas de aquisição e os certificados verdes constituem a quase totalidade dos incentivos na UE. As tarifas de aquisição podem sobrefinanciar as energias renováveis e é um sistema com maiores custos do que o sistema dos certificados verdes. Os certificados verdes, se criarem um mercado que funcione bem, podem ser mais custo-eficazes. Por exemplo, o mercado será muito sensível às variações meteorológicas sazonais. Num Inverno chuvoso, a hidroelectricidade pode criar um excesso de certificados no mercado, o que reduzirá o seu preço e prejudicará os produtores. Parte da solução pode passar por estabelecer preços mínimos e máximos para os certificados verdes, salvaguardando os interesses dos produtores e consumidores.

As tarifas de aquisição levantam um problema que se verifica em Portugal. O sistema português de incentivo à utilização da biomassa para produção de electricidade consiste num sistema misto entre as tarifas de aquisição e o concurso. A tarifa de aquisição para a biomassa, calculada através das orientações dispostas no Decreto-Lei nº33-A/2005, situa-se entre 106-108 €/MWh_e para centrais de potência superior a 5 MW_e. Devido às diferenças nas tarifas de aquisição entre os

vários Estados-membros, existe biomassa florestal em Portugal a ser exportada para países como a Itália (Andrade, 2007). De facto, considerando o quadro seguinte (Quadro 2.2), pode-se verificar que existem grandes diferenças entre as tarifas praticadas. Isto coloca aos Estados-membros exportadores o problema de enfrentar a escassez de biomassa para abastecer as suas próprias centrais. Ao nível ambiental, a exportação torna esse sistema de abastecimento específico num sistema com emissões superiores, se considerarmos o transporte marítimo e, especialmente, rodoviário que tem que ser efectuado. No entanto, a futura Directiva dos combustíveis, que obrigará ao apuramento e divulgação de informação sobre a intensidade carbónica dos combustíveis no seu ciclo de vida, pode vir a contribuir para a regulação deste problema.

Quadro 2.2 Tarifas de aquisição de energia eléctrica a partir de biomassa florestal para alguns países da UE (DL nº33-A/2007; Obernberger & Thek, 2004; Soria, 2007)

Pais	Tarifa de aquisição (€/MWh _e)
Portugal	106-108
Áustria	130-150
Bélgica	100-125
Espanha	118-128
Itália	105-130

A harmonização das tarifas de aquisição na UE é uma medida que tem que ser implementada, embora nada indique que possa solucionar o problema eficazmente (Vagonyte, 2007). De facto, nivelar as tarifas para um valor alto significa lesar os interesses dos consumidores dos países com menor poder de compra; nivelar as tarifas para um valor baixo prejudicará os produtores de electricidade e colocará em risco o cumprimento das metas europeias e nacionais.

2.3. Situação da biomassa florestal em Portugal

2.3.1. A floresta portuguesa

Portugal continental tem cerca de 33000 km² de floresta, o que corresponde a cerca de 37% do território nacional (DGRF, 2006). A floresta portuguesa apresenta contextos consideravelmente diferentes de norte a sul do país. Segundo a *3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional* (DGRF, 2001), as espécies com maior representatividade são o pinheiro bravo, o eucalipto e o sobreiro, e representam 30%, 21% e 20% da área florestal em Portugal continental, respectivamente. Como se pode observar na Figura 2.2, a distribuição das espécies é bastante heterogénea:

o montado de sobreiro está maioritariamente presente a sul do Tejo, nos distritos de Beja, Évora, Santarém e Setúbal; o eucalipto está distribuído numa faixa ao longo do rio Tejo e, de Norte a Sul, no litoral, em particular nos distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu; o pinheiro bravo apresenta-se principalmente a norte do Tejo, especialmente na zona Centro, nos distritos de Leiria e Castelo Branco.

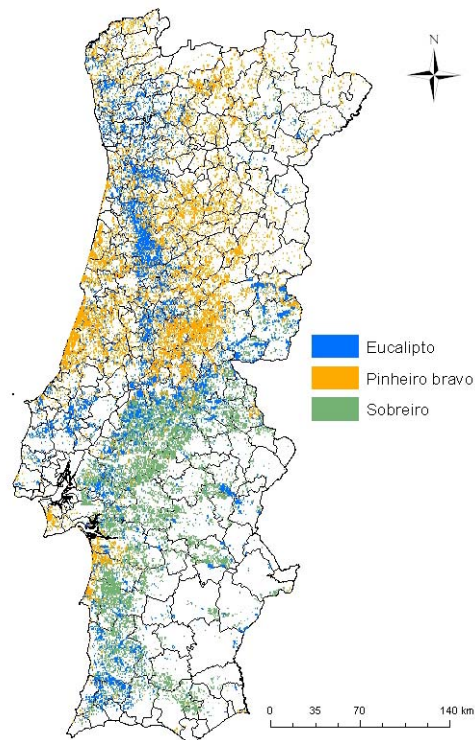


Figura 2.2 Distribuição do eucalipto, pinheiro bravo e sobreiro em Portugal continental (Fonte: DGRF, 2001).

No que se refere à estrutura da propriedade e características dos proprietários florestais, são de realçar algumas conclusões do estudo de Oliveira Baptista & Terra Santos (2006):

- Quase 75% da superfície florestal de Portugal continental pertence a proprietários florestais privados;

- 67% dos proprietários privados possuem áreas florestais inferiores a 5 hectares e apenas 4% tem áreas superiores a 100 hectares;

- O número médio de blocos por proprietário é de 3,4, sendo um bloco "a parte das terras de um proprietário inteiramente rodeada de terra, águas, etc., que não são sua propriedade" (p.52);

- O rendimento proveniente da floresta representou para 76% dos proprietários menos de 10% do rendimento do proprietário nos últimos dez anos.

Estas conclusões podem fazer incidir alguma luz sobre o potencial da biomassa em território nacional. Portugal é dos países europeus com maior percentagem de área florestal e o sétimo com a maior área absoluta na UE 15. No entanto, esta disponibilidade pode ficar desaproveitada pelo facto dos proprietários privados possuírem áreas de reduzidas dimensões e fragmentadas, impossibilitando economias de escala.

Outro factor que pode conduzir ao desinteresse pela floresta relaciona-se com a ocorrência de incêndios florestais de grandes dimensões. O clima mediterrânico, com Verões quentes e secos, favorece a ocorrência de incêndios. Mas outras razões existem para que os incêndios sejam uma realidade constante no período de Verão: o abandono rural, a acumulação de combustível, a negligência ou o fogo posto. O elevado risco de incêndio afasta ainda mais os proprietários da actividade florestal e conduz ao subaproveitamento dos recursos florestais.

2.3.2. Produção de biomassa florestal residual

Os estudos sobre a disponibilidade de biomassa florestal em Portugal começaram em 1985 com o trabalho realizado pela consultora Arthur D. Little e pela Tecinvest. O estudo estava orientado por oito objectivos, dos quais sobressai a determinação da disponibilidade e custos dos resíduos florestais (Objectivo 1). A produção anual de resíduos florestais e resíduos da indústria da madeira foi avaliada em 3,54 milhões de toneladas verdes, proveniente na sua maioria da exploração florestal do pinheiro bravo, eucalipto e sobreiro (A.D. Little & Tecinvest, 1985) (Quadro 2.3). Para além do seu enorme contributo como pioneiro para a avaliação do potencial da biomassa florestal, o estudo fundamentou-se numa não menos importante amostragem de campo que culminou no desenvolvimento das primeiras equações para a estimação de BFR.

Em 2001, foi feita uma nova estimativa da produção de biomassa em Portugal da autoria da ADENE e do INETI. Segundo este estudo, a floresta portuguesa pode fornecer anualmente cerca de 2 milhões de toneladas secas, enquanto o contributo da indústria transformadora da madeira foi estimado 200 mil toneladas secas (ADENE & INETI, 2001). A estimativa efectuada para a floresta inclui não só os

ramos e bicadas, mas também os matos e a biomassa proveniente de áreas ardidas.

Quadro 2.3 Produção de resíduos florestais em Portugal por origem (A.D. Little & Tecninvest, 1985).

Origem	Peso verde (10 ⁶ t/ano)	%	Peso seco (10 ⁶ t/ano)	%
Pinheiro bravo	1,22	0,34	0,51	0,27
Eucalipto	0,91	0,26	0,40	0,21
Sobreiro	0,90	0,25	0,65	0,35
Outros resíduos florestais	0,30	0,08	0,20	0,11
Resíduos da indústria da madeira	0,22	0,06	0,11	0,06
Total	3,54		1,87	

Um recente estudo realizado por Campilho (2006) merece ser mencionado pela actualidade e diferente abordagem da avaliação desenvolvida. O estudo faz uma estimativa da produção de biomassa florestal proveniente da exploração do pinheiro bravo e eucalipto, complementada com uma estimativa da produção de biomassa dos matos do sub-coberto florestal. A biomassa total foi estimada em 5,1 milhões de toneladas secas, dos quais 1,4 e 1,1 milhões de toneladas provêm dos povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, respectivamente.

Comparando apenas a BFR proveniente dos povoamentos florestais, constata-se que as estimativas variam entre cerca de 1,7 e 2,5 milhões de toneladas secas. Esta variabilidade é significativa dado que a estimativa mais elevada inclui apenas os povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo, enquanto que a estimativa mais baixa refere-se a todos os resíduos florestais.

2.3.3. Aproveitamento da biomassa florestal

A indústria da pasta e papel foi pioneira no aproveitamento da biomassa florestal em Portugal. Desde cedo percebeu que a utilização dos resíduos que produzia, em particular o licor negro, poderiam servir para produzir calor para os próprios processos industriais. A produção de calor que não é utilizada para esses processos é utilizada para a produção de energia eléctrica, quer para auto-consumo, quer para injectar na rede eléctrica de serviço público, num processo designado por cogeração. Em 1995, Portugal tinha uma potência instalada de 359 MW para produção de energia eléctrica; dez anos mais tarde, a potência situava-se nos 474 MW_e (DGGE, 2006b). Apesar da potência instalada ser relativamente baixa, quando

se considera o contributo para o consumo final de energia eléctrica, a biomassa representou 8% do consumo final total de energia em 2005 (DGGE, 2006a, 2006c).

A primeira central termoeléctrica dedicada a biomassa florestal entrou em funcionamento em 1997, em Vila Velha de Ródão. A central, explorada pela Centroliva, tem uma potência de 3 MW_e e consome 120 toneladas por dia de resíduos florestais, entre os quais casca de pinheiro, serradura e bagaço de azeitona. Contudo, a primeira central de grande potência e especificamente dimensionada para consumir BFR foi construída em Mortágua, na margem da albufeira da Aguieira. A central de Mortágua tem uma potência instalada de 9 MW_e e produz anualmente 63 GWh de energia eléctrica. O consumo de biomassa em 2006 foi de 109 000 toneladas, das quais cerca de 96% eram BFR (CBE, 2007a).

2.3.4. Política energética para o aproveitamento de biomassa florestal residual em Portugal

Um dos princípios em que se baseia a política europeia é o princípio da subsidiariedade, que pretende transferir o poder de decisão para o mais próximo possível do cidadão. No caso da política energética, a UE enquadra e orienta as políticas dos Estados-membros, sem deixar de lhes conferir a liberdade na definição concreta das políticas e instrumentos que pretendem implementar.

Como foi referido, no que respeita à produção de electricidade a partir da biomassa, Portugal optou por um sistema de tarifas de aquisição aliado a concursos públicos. Foi no seguimento dessa política que foi aberto um concurso para quinze centrais para uma potência total a instalar de 100 MW_e, aos quais se juntam 150 MW_e já licenciados. Segundo o Decreto-Lei nº33-A/2005 – entretanto já alterado pelo Decreto-Lei nº225/2007 –, a tarifa de aquisição para as centrais de biomassa está entre os 106-108 €/MWh_e e é válida para os primeiros 25 anos a partir do momento em que começa a fornecer electricidade à rede. É de salientar que esta tarifa não pode, em Portugal, ser aplicada à electricidade produzida a partir de biomassa em centrais a carvão. Contudo, em vários países europeus, a co-combustão de biomassa é elegível para uma tarifa superior à do mercado.

A aposta na biomassa tem-se restringido à produção de electricidade e é feita, em parte, para desenvolver o mercado da produção de electricidade no sentido de garantir os três objectivos primários da política energética europeia já enunciados. O caso português, contudo, não se resume somente a estes objectivos. A situação

da floresta portuguesa agravou-se com os grandes incêndios de 2003 e 2005, ardendo mais de 750 000 hectares de floresta e matos, só nesses dois anos (DGRF, s/d). O concurso pretende incentivar o sector dando destino e valorizando os resíduos das operações de silvicultura tradicionais e de silvicultura preventiva. Neste último caso, o Plano Nacional de Defesa da Floresta contra Incêndios (PNDFCI), estabelecido pela Resolução do Conselho de Ministros nº65/2006, considera uma medida que consiste na redução de combustível através da implementação de uma rede de gestão de combustível e que envolverá a redução total ou parcial da vegetação. Também a criação das Zonas de Intervenção Florestal (ZIF), com a melhoria da gestão silvícola que se espera, poderá criar condições para uma abordagem integrada dos produtos e serviços florestais, entre os quais a BFR.

Não obstante o facto de a problemática dos incêndios florestais ser considerada como a principal justificação para o concurso das centrais, a preocupação com as alterações climáticas e com o contributo da biomassa para alcançar as metas nacionais de produção de energia a partir de FER tem sido escassa. A revisão do Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), bem como o segundo Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE II), descritos na Resolução do Conselho de Ministros nº1/2008, já fazem menção à meta dos 250 MW_e de potência eléctrica em centrais dedicadas a biomassa e à co-combustão nas centrais de Sines e do Pego. No entanto, a Resolução do Conselho de Ministros nº169/2005, que institui a Estratégia Nacional para a Energia, considera os 100 MW_e de potência a acrescentar aos 150 MW_e, mas omite o potencial da biomassa como fonte de energia para o aquecimento residencial e de edifícios públicos.

Apesar da política energética portuguesa, no que respeita à biomassa, ser excessivamente estreita nas suas aplicações, existe a possibilidade de recorrer a outro tipo de incentivos, nomeadamente através da comparticipação de investimentos. O Programa PRIME, através da Medida de Apoio ao Aproveitamento do Potencial Energético (MAPE), permitiu eleger projectos de energias renováveis para a obtenção de juros reduzidos e comparticipações que podiam chegar até 40% do investimento total. Mais recentemente, foram aprovados os Programas Operacionais para o Quadro de Referência Estratégica Nacional (QREN), para o período entre 2007 e 2013, e que permitem a candidatura de projectos baseados na investigação e desenvolvimento, inovação, e qualificação e internacionalização de PME.

A meta actual para a produção de electricidade a partir de centrais dedicadas de biomassa em 2010 é de 250 MW. Parte desta potência a instalar, 150 MW_e foi já atribuída à EDP. Os restantes 100 MW_e estão em processo de adjudicação através do *Concurso para Atribuição de Capacidade de Injecção de Potência na Rede do SEP e Pontos de Recepção Associados para a Energia Eléctrica Produzida em Centrais Termoeléctricas a Biomassa Florestal*. Os 100 MW_e de potência a instalar repartem-se por quinze centrais localizadas em zonas de elevada densidade de biomassa e elevado risco de incêndio, sem colidir com os actuais e potenciais consumidores de biomassa (DGGE, 2006d). Avaliando os critérios de classificação (Quadro 2.4), é notória a importância dada ao recurso, sendo as melhores pontuações atribuídas aos concorrentes que apresentem garantias da disponibilidade da biomassa e em que a utilização de outros combustíveis que não a biomassa florestal seja mínima (DGGE, 2006e). Até 2007, tinham sido licenciados 56 MW_e e faltavam ser atribuídas quatro das quinze centrais previstas, sendo que as centrais de Vila Real e Bragança, ambas de 2 MW_e, não tiveram concorrentes. No distrito de Santarém, o local de implantação da central será em Rio Maior.

Quadro 2.4 Critérios e respectiva ponderação para a classificação das propostas para o concurso às centrais termoeléctricas a biomassa florestal (DGGE, 2006e).

Critério	Sub-critério ou factor	Ponderação
A. Caracterização do combustível da central	A1. Tipo de combustível	30%
B. Solidez e sustentabilidade do fornecimento à central	B1. Vínculos contratuais para o fornecimento do recurso florestal	25%
	B2. Garantias de cumprimento contratual	20%
C. Tecnologia e eficiência energética	C1. Rendimento de produção de energia eléctrica	10%
	C2. Aproveitamento de calor	10%
D. Inovação e dinamização do sector	D1. Cooperação com instituições do Sistema Científico e Tecnológico	2,5%
	D2. Associativismo na área da biomassa para a energia	2,5%

Desde o lançamento do concurso que têm sido levantadas algumas dúvidas sobre a disponibilidade do recurso para o funcionamento das centrais. De facto, a produção de biomassa florestal estimada é de 3,54 milhões de toneladas verdes (A.D. Little & Tecninvest, 1985), quantidade que poderá ficar aquém das necessidades de consumo. Num futuro próximo, em 2010, Portugal terá que

satisfazer as necessidades dos 250 MW_e de potência eléctrica a instalar e da co-combustão em 5% nas centrais a carvão de Sines e Pego, podendo as necessidades totalizar cerca de 3,2 milhões de toneladas verdes. Para além deste consumo, outros utilizadores irão entrar no mercado, como as fábricas de *pellets* ou as cimenteiras, para além de 250 mil toneladas verdes que estão a ser exportadas para a Europa. Dado que nem toda a biomassa florestal produzida é passível de ser explorada por questões económicas ou ambientais, é possível prever que, verificando-se as actuais estimativas de produção de biomassa florestal, haverá escassez do recurso.

2.4. Tendências futuras para a biomassa florestal

Em 2005, a produção mundial de energia primária proveniente de combustíveis renováveis e resíduos foi equivalente a 47 EJ (IEA, 2007a). As estimativas do potencial mundial da bioenergia variam significativamente e apontam para valores entre 100-400 EJ/ano em 2050 (Berndes *et al*, 2003). Segundo os mesmos autores, o grande contributo para esse potencial provém das plantações energéticas, que podem chegar a produzir entre 50-240 EJ/ano.

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.

Embora o desenvolvimento tecnológico avance no sentido de proporcionar tecnologias de produção de electricidade cada vez mais eficientes, a biomassa tem um enorme potencial para substituir os combustíveis fósseis no aquecimento ambiente e água. Este deve ser o principal caminho para a utilização da biomassa e onde a sua aplicação é mais eficiente. É na área da produção de calor para aquecimento através de sistemas limpos, baratos e eficientes que países menos desenvolvidos nesta área, como Portugal, devem apostar. A produção de *pellets*, hoje a dar os primeiros passos em Portugal, faz parte do caminho a percorrer para a instalação de caldeiras modernas utilizadas no aquecimento de edifícios públicos e

residenciais. Estes sistemas podem funcionar em regime de cogeração, produzindo electricidade e calor. No entanto, será a trigeriação, e não a cogeração, a tecnologia que mais se adequaria ao clima português, aproveitando o calor produzido no Verão, período em que as necessidades de aquecimento são quase nulas, para produzir frio.

O muito aguardado avanço tecnológico que se considera que pode causar uma pequena revolução no mundo da energia é a produção de biocombustíveis a partir de biomassa florestal. A utilização do processo de Fischer-Tropsch para a produção de bioetanol não é ainda uma tecnologia comercial, mas pode sê-lo a médio prazo (Faaij, 2006). A biomassa florestal será, no futuro, um recurso que pode ser utilizado para aquecimento, arrefecimento, electricidade e transportes, respondendo a grande parte das futuras necessidades das sociedades.

3. Sistemas de exploração de biomassa florestal residual

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 (Figura 3.1). 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.

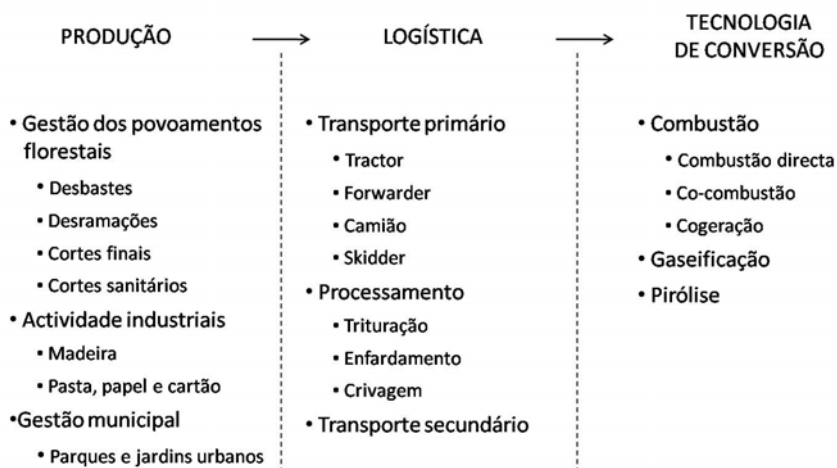


Figura 3.1 Esquema geral dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual.

3.1. 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:

3.1.1. 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 árvores 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.

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.

3.1.2. Actividades industriais

Indústria Transformadora de Madeira: as indústrias que utilizam e transformam a madeira (CAE 20), 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) estimaram uma produção 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 (CAE 21) 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.

3.1.3. Gestão municipal

Gestão de parques e jardins urbanos: os parques e jardins públicos podem contribuir com BFR através das operações de limpeza e desramações. Se se proceder à recolha de resíduos verdes, o que inclui a produção de resíduos das famílias, as

autarquias podem considerar a combustão desses resíduos num central dedicada ou em caldeiras a biomassa para aquecimento de edifícios públicos.

3.2. Logística

3.2.1. 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 recheia. Esta operação pode ser efectuada por um tractor agrícola ou florestal, por um *forwarder* (Figura 3.2) 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 3.2). Outra opção para locais com declive acentuado é a utilização de um cabo-grua para extrair rolaria.



Figura 3.2 *Skidder* de cabo (esq.) e *forwarder* (dir.) (RE Consulting, 2007).

3.2.2. 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.

3.2.2.1. Trituração

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).

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 tritar 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 tritar que usam facas produzem uma estilha com partículas de dimensões regulares entre 5-50 mm (*wood chips*) (Figura 3.3). Os trituradores podem ser de disco ou de tambor (Figura 3.4). Nos trituradores de disco, a BFR entra pela abertura de alimentação a um ângulo de 45° 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 3.3 Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas (Fonte: www.barkdelivered.com).

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).

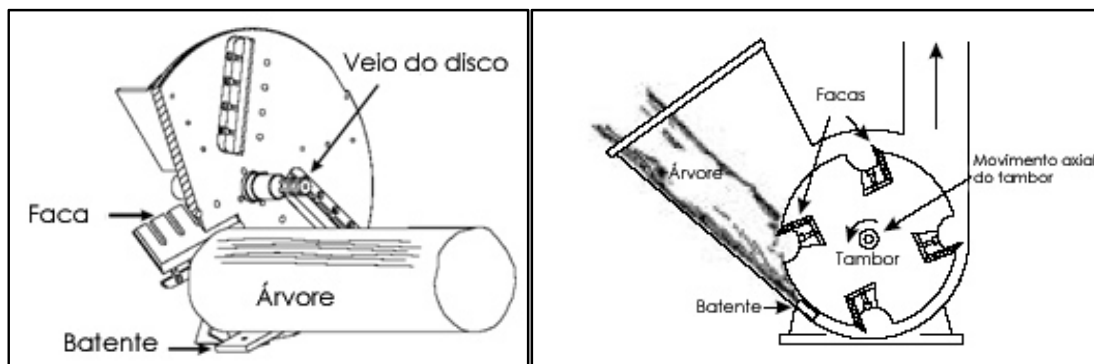


Figura 3.4 Esquema de funcionamento dos trituradores de facas de disco (esq) e de tambor (dir.).

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 3.5). 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 3.6).



Figura 3.5 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 caminhão se o espaço for reduzido (RE Consulting, 2007).



Figura 3.6 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 (*tapered 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.

3.2.2.2. 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 3.7). 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 3.7 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.

3.2.2.3. 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 3.8). 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 3.8 Máquina para de produção de fardos (RS2000) montada num *forwarder* (Fonte: Hakkila, 2004).

3.2.3. 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 3.9), 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 3.9 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.

3.3. Sistemas de exploração de biomassa florestal residual

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 tritar, 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):

3.3.1. 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 tritar 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 3.10) 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 3.10 Trituração de BFR no carregadouro. A estilha é projectada directamente para o camião.

3.3.2. 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 3.11). 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 3.11 Trituração de BFR produzida num povoamento tradicional de choupo.

3.3.3. 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.

3.3.4. Trituração no terminal

A trituração no terminal é um meio-termo entre a trituração no carregadouro e na unidade consumidora. O transporte de BFR não triturada ou de estilha até ao terminal permite que actue como plataforma logística onde os processos são mais produtivos. A trituração pode ser feita no terminal mais eficientemente ou, caso o produto transportado seja estilha, pode ficar armazenado em pilha, perdendo humidade e ser transportado quando houver maior necessidade no mercado (Figura 3.12).



Figura 3.12 Trituração no terminal. A estilha fica armazenada num local sob cobertura, permitindo uma secagem mais rápida.

3.4. 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.

3.4.1. Combustão

A combustão consiste na oxidação total da matéria orgânica da biomassa efectuada a altas temperaturas (800-1000°C, 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 (<100°C) e em que a água passa a vapor (100-150°C).

- Decomposição pirolítica: trata-se da decomposição dos componentes de cadeia longa e que ocorre entre os 150-230°C. A decomposição é pirolítica porque se dá na ausência de oxigénio.

Estas duas fases são endotérmicas. A partir dos 230°C 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 230°C. A gaseificação ocorre principalmente na grelha de combustão até aos 500°C.

- Gaseificação do carvão sólido: sob influência do CO₂, água e oxigénio, é gerado monóxido de carbono combustível. Esta fase, que ocorre entre os 500-700°C, 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 700-1400°C. 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 NO_x 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).

3.4.2. 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).

3.4.3. Pirólise

A pirólise é o aquecimento da biomassa na ausência de oxigénio até 500°C 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. Sustentabilidade dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual

Neste capítulo pretende-se enquadrar o aproveitamento da biomassa florestal residual (BFR) para a produção de energia nas perspectivas ambiental e económica. Sempre que possível, a avaliação destas duas vertentes pressupõe, para além de uma análise objectiva dos impactes ambientais e da viabilidade económica destes sistemas, uma comparação com as fontes de energia alternativas à biomassa, nomeadamente as de origem fóssil.

4.1. Impactes ambientais

O desenvolvimento sustentável, porventura o conceito-chave do séc. XXI, pode ser definido como o tipo de desenvolvimento que permite a perpetuidade das actividades humanas. Dentro deste conceito, pode ainda ser feita a distinção entre sustentabilidade forte, que considera que o capital natural é insubstituível, e sustentabilidade fraca, na qual o capital humano pode colmatar a redução de capital natural. A sustentabilidade dos sistemas de exploração de BFR significa, portanto, que no conjunto das actividades humanas, a produção de energia a partir da biomassa pode ter um desenvolvimento perpétuo e não impedirá a continuidade de outras actividades.

Na análise dos impactes ambientais destes sistemas, é central para garantir a sustentabilidade:

1. Um balanço energético positivo, no qual se produz mais energia do que aquela que se consumiu em todo o sistema de exploração de BFR;
2. Um balanço de emissões de GEE neutro ou que possa ser equilibrado pelos sistemas naturais;
3. A manutenção da produtividade dos locais de produção de BFR;
4. Um nível de emissões atmosféricas que esteja dentro da capacidade de resiliência dos sistemas naturais.

A análise do ciclo de vida, quer seja orientada para os fluxos de materiais, energia ou emissões, é uma importante ferramenta para a avaliação da sustentabilidade das actividades económicas. Para os sistemas de exploração de BFR, importa conhecer o balanço energético e o de emissões de GEE.

Nas análises do balanço energético dos sistemas de produção de energia, pretende-se comparar a energia total produzida com a energia consumida nas suas várias componentes. Nos sistemas de exploração de BFR existe consumo de combustíveis fósseis, na sua maioria gasóleo, no funcionamento dos tractores, máquinas de trituração e camiões de transporte. Também na central de produção, existe consumo que, se não for produzido a partir de combustíveis fósseis, é retirado à produção de calor e electricidade a partir da biomassa. As entradas e saídas de energia são contabilizadas e avaliadas num indicador que é o rácio energético do sistema. O rácio energético é definido como o quociente entre a energia produzida e a energia consumida.

Wihersaari (2005), num estudo incidindo sobre cinco sistemas distintos de exploração de BFR num corte final, concluiu que o consumo de combustíveis fósseis representa entre 2-3% da energia térmica produzida, enquanto que Hall (2002) aponta um consumo superior, entre 4-10% da energia térmica produzida. Se considerarmos uma eficiência de conversão em energia eléctrica de 20%, o rácio de energia eléctrica situa-se entre 2-10. Ou seja, os sistemas de exploração de BFR podem produzir entre 2 e 10 unidades de energia eléctrica por cada unidade de energia fóssil consumida. Estes dados são corroborados por um estudo recente de Yoshioka *et al* (2005), que estimaram o rácio de energia eléctrica em 5,69. A comparação destes sistemas com os de produção de electricidade a partir de carvão ou gás natural demonstra que os segundos são, no aspecto de eficiência energética, insustentáveis ao apresentarem rácios de energia inferiores à unidade (Mann & Spath, 2000).

No que se refere ao balanço de emissões de GEE, os sistemas são considerados neutros em emissões de CO₂, pelo facto de armazenarem num próximo ciclo de crescimento o carbono que foi emitido numa central. No entanto, há vários pormenores a ter em conta nesse pressuposto. Numa análise ciclo de vida dos sistemas de exploração, há consumo de energia de origem fóssil e, como tal, existem emissões de GEE que não serão armazenadas no futuro. Acresce ainda que, para além do CO₂, há emissão de outros gases que contribuem para as alterações climáticas, nomeadamente o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). De facto, nas metodologias de contabilização de emissões de GEE, o IPCC estabelece como factores de emissão na combustão de madeira para a produção de energia os valores de 30 kg CH₄/TJ e 4 kg N₂O/TJ (Eggleston, 2006).

Numa análise do ciclo de vida, as emissões situam-se entre 54-62 kg CO₂eq/MWh, incluindo as emissões da fertilização para compensação remoção de nutrientes (Wihersaari, 2005) (Quadro 4.1). Segundo o mesmo autor, as emissões de GEE nos sistemas de BFR representam uma redução entre 97-98% das emissões dos sistemas que utilizam combustíveis fósseis, enquanto que Hall (2002) refere reduções entre 90-95%. Yoshioka *et al* (2005) estimou uma redução de emissão de CO₂ de cerca de 93,5% em comparação com as centrais a carvão. Por outro lado, é de salientar que, quando a exploração florestal é comparada com a floresta sem intervenção humana, há informação que aponta para reduções do *stock* de carbono entre 23-38%, sendo estes dados explicados pela alteração na composição das espécies e pela redução da idade média dos povoamentos (Haber & Erb, 2006).

Quadro 4.1 Emissões de gases com efeito de estufa nas várias fases dos sistemas de exploração de biomassa florestal residual (Wihersaari, 2005).

Origem das emissões	Emissões de GEE (kg CO ₂ eq/MWh)
Trituração e transporte	4,3 - 7,5
Combustão	2
Recirculação de cinzas	0,2
Fertilização com azoto	7
Alterações no solo florestal	40 - 45
Total	53,5 - 61,7

Um dos temas com maior relevância para a sustentabilidade dos sistemas de BFR tem sido a manutenção da fertilidade. Ao remover a BFR de um povoamento evita-se que os nutrientes regressem ao solo. Esta questão é particularmente preocupante se atendermos ao facto de que é nas copas das árvores adultas e nas árvores de plantações recentes que as concentrações são mais elevadas (Reijnders, 2006; Vesterinen, 2003). A contínua remoção de nutrientes não permitirá manter os níveis de produtividade dos povoamentos no longo prazo, sendo por isso necessária uma gestão que torne os sistemas sustentáveis. Em primeiro lugar, a natureza dispersa e pouco densa da BFR não permite que seja viável recolhê-la toda, e parte ficará no terreno. Hakkila (2004), por outro lado, sugere que a BFR proveniente dos desbastes posteriores ao primeiro não seja explorada por retirar nutrientes importantes em fases que são críticas para o desenvolvimento das restantes árvores.

Uma outra solução passa por considerar deixar a BFR a secar um período de tempo para que pequenos ramos, agulhas e folhas caiam e permaneçam no terreno

(AEBIOM, s/d). No entanto, a solução que mais facilmente parece afirmar-se é a recirculação das cinzas de combustão da BFR. A aplicação de cinzas em solos florestais tem as vantagens de devolver nutrientes ao solo, especialmente cálcio, potássio, fósforo e magnésio, actuar como meio para corrigir a acidez, em substituição de aplicações de cal, e evitar a deposição de cinzas em aterro, com custos acrescidos para as centrais (Emilsson, 2006; Vesterinen, 2003). A aplicação das cinzas deve ser feita em conjunto com a fertilização em azoto, pelo facto de as cinzas serem pobres em relação a esse macronutriente. A aplicação de cinzas em terrenos agrícolas não é permitida pela legislação comunitária pelo facto de apresentar teores de metais pesados superiores aos permitidos, em particular em relação ao cádmio (Vesterinen, 2003).

As emissões atmosféricas resultantes da combustão da biomassa em centrais de produção de energia são regulamentadas pela Directiva 96/61/CE (Prevenção e controlo integrados da poluição – PCIP), embora para centrais com potência igual ou superior a 50 MW_{th} também se aplique a Directiva 2001/80/CE. Com a aplicação da tecnologia actual de controlo de emissões atmosféricas, as centrais de biomassa conseguem garantir um desempenho dentro dos limites legais.

A poluição atmosférica e os seus impactes ao nível da qualidade do ar interior são um problema concreto dos equipamentos de aquecimento residencial, sendo que existe já uma norma em estudo para regulamentar as emissões provenientes de equipamento de aquecimento doméstico (Vares *et al*, 2005). A evolução tecnológica na melhoria da eficiência dos equipamentos e controlo de emissões, aliada à utilização de combustível mais limpo como os *pellets*, permitiu melhorias muito significativas na redução das emissões de partículas, CO e compostos orgânicos voláteis (COV), em particular o metano (Johansson *et al*, 2004). No entanto, no caso específico dos COV, as emissões são ainda superiores às originadas em equipamentos a fuelóleo (Johansson *et al*, 2004). É de salientar que se podem obter emissões gasosas muito distintas conforme os parâmetros de operação do equipamento, especialmente a temperatura e o excesso de ar secundário (Fiedler, 2004).

Existem impactes positivos e negativos que convém referir, ainda que, pelo seu baixo significado, sejam um modesto e secundário contributo para a sustentabilidade destes sistemas. O incentivo que o mercado da biomassa dá aos proprietários para executarem desbastes permite reduzir o risco de incêndio, e

facilita o seu controlo ao diminuir a velocidade de propagação e ao melhorar a acessibilidade para o combate. A remoção dos cepos após o corte final beneficia a plantação seguinte ao exterminar doenças que os pudessem estar a infectar e evitando a sua propagação (Hakkila, 2004). Em contraposição, deixar a BFR no solo, para além de restituir nutrientes, protege o solo da erosão e promove a infiltração da água (Wiesenthal *et al*, 2006). Importa também referir um estudo recente (Haber & Erb, 2006) que suporta a hipótese espécies-energia, a qual defende que a diversidade em espécies é crescente quanto maior for a energia trófica presente no ecossistema e, portanto, que a exploração da BFR pode reduzir a biodiversidade.

A competição pela terra e a possibilidade dos terrenos agrícolas virem a ser florestados, motivada pelas novas oportunidades na exploração florestal, é uma realidade distante. Em primeiro lugar, as culturas agrícolas representam um rendimento anual e os rendimentos obtidos pela exploração da BFR, nas situações actuais de mercado, não deverão dar um incentivo suficientemente atractivo para que um proprietário pondere a alteração do uso que faz da terra. O lucro do produtor pode ser cerca de 0,14-0,85 €/GJ (Bradley, 2007; VTT, 2007) e considerando a descontinuidade da receita, não é comparável com as receitas que podem advir da exploração agrícola.

O problema da competição pode, no entanto, colocar-se na utilização do recurso biomassa, seja rolaria ou resíduos da indústria, entre usos de maior valor acrescentado (pasta e papel, aglomerados, serração, etc.) e a produção de energia. Dado que a biomassa florestal residual, na forma de rama ou cepos, não tem qualquer aproveitamento a não ser o seu aproveitamento para fins energéticos, não se pode falar de competição para essa fracção em particular. Não obstante, há competição pelos resíduos industriais (serradura e serrim) para o fabrico de aglomerados e produção de *pellets*, ou na rolaria utilizada para serração e a produção de estilha para energia. O desenvolvimento do sector da biomassa não coloca problemas às indústrias de igual modo (Engelbrecht, 2006):

- As serrações têm que competir pela rolaria com o sector da biomassa, mas têm sempre escoamento para os seus resíduos, tanto para a indústria dos aglomerados como para a da produção de energia;
- A indústria dos aglomerados é afectada negativamente porque terá que competir pelo mesmo recurso (resíduos da Indústria Transformadora da Madeira) com a indústria da produção de energia;

- A indústria da pasta e papel será prejudicada pela competição pela rolaria, mas tem a oportunidade de produzir e vender electricidade através dos próprios resíduos gerados.

A questão da sustentabilidade está certamente na ordem do dia e é uma temática para a qual as empresas estão, de um modo geral, sensibilizadas. A certificação surge como resposta à crescente exigência dos consumidores e a que está também aliada uma consciencialização dos próprios empresários para os problemas ambientais. A gestão sustentável da floresta está a desenvolver-se à medida que as empresas exigem que os seus fornecedores cumpram um quadro de normas que permita certificar a cadeia de responsabilidade. Na perspectiva de um mercado voluntário de certificados verdes ou de um mercado de *pellets*, o consumidor final necessitará de uma garantia de que o produto satisfaz um conjunto de critérios de sustentabilidade. Existe actualmente uma tentativa de desenvolver um padrão de certificação para a energia produzida a partir de biomassa ao nível europeu, na seguimento do que já existe na Suécia e Áustria, e que pretende, entre outros, que apenas a BFR originária de povoamentos certificados pelo Forest Stewardship Council (FSC) e em que não existe remoção de agulhas, folhagem ou raízes, possa ser certificada (Oehme, 2006).

4.2. Impactes na economia

Os benefícios económicos da utilização da biomassa podem ser analisados de perspectivas diferentes, nomeadamente na do proprietário florestal, dos empreiteiros, dos produtores de energia e da sociedade. Pelo que já foi atrás referido, se as vantagens ambientais forem integradas nos preços de mercado, especialmente no que se refere à redução de emissões de GEE, os sistemas de exploração de BFR podem ser, globalmente, mais atractivos do que os combustíveis fósseis.

Na perspectiva do proprietário, o aproveitamento da BFR permite-lhe retirar mais rendimento da exploração florestal e, mais importante ainda, valoriza o que antes era um resíduo. O facto de se tratar de um resíduo, contudo, não significa que não tenha um valor próprio. De facto, como foi referido, não extrair a BFR tem benefícios ambientais que favorecem o proprietário, como a protecção do solo conta o efeito da erosão ou restituição de nutrientes. Existe, portanto, uma concorrência entre os dois usos que tem que ser considerada. Na análise do lucro que o proprietário pode

auferir com a exploração da BFR para fins energéticos, entre 0,14-0,85 €/GJ (Bradley, 2007; VTT, 2007), apenas as operações de transporte primário, trituração e transporte secundário é que devem ser consideradas, sendo as restantes operações – abate e processamento – imputadas à exploração do produto principal. Este rendimento extraordinário permite, numa perspectiva global da exploração florestal, melhorar a viabilidade económica dos desbastes, cortes finais e preparação do terreno para nova plantação (Hall, 2002). Gan & Smith (2007) estimaram que a exploração da BFR dos cortes finais nos EUA pode reduzir em 60-74% os custos de preparação do terreno para reflorestação.

Os empreiteiros florestais são beneficiados pela exploração da BFR na medida em que induz um aumento da procura de trabalho e, conseqüentemente, torna o capital das empresas mais rentável. Embora no aproveitamento da BFR a situação não ocorra, quer porque existe pouca sazonalidade nas operações, quer porque estas ocorrem em simultâneo com a exploração do produto principal, existem máquinas, como as ceifeiras, em que no Verão fazem a colheita dos cereais e no Inverno a colheita de culturas florestais energéticas, aumentando o tempo produtivo anual das máquinas.

A utilização da BFR para a produção de electricidade apresenta, também, vários benefícios para os produtores de energia. Em primeiro lugar, para as centrais de combustão de carvão, a co-combustão permite eliminar as emissões CO₂ e reduzir as de NO_x e SO₂ (Veijonen *et al*, 2003). Estas reduções, considerando o mercado de emissões de CO₂ e os custos de tratamento das emissões atmosféricas, proporcionam às centrais vantagens financeiras. O investimento a efectuar nas centras a carvão pode ser recuperado em dois anos, apenas viável quando se inclui o custo do CO₂ (DTI, 2007; IEA, 2007b). Em relação às centrais dedicadas a biomassa, a sua viabilidade económica depende de um conjunto de variáveis – potência, eficiência e tecnologia da central; preços da biomassa, dos combustíveis alternativos e licenças de emissão, entre outros – que torna a avaliação específica das características das centrais e circunstâncias dos mercados.

No que respeita à potência das centrais, Dornburg & Faaij (2001) referem que as centrais dedicadas que utilizam BFR podem ser rentáveis a partir de 50-80 MW_{th}, ou seja, e considerando uma eficiência de 20%, a partir de 10-40 MW_e. Caputo *et al* (2005) estimaram que as centrais de combustão podem ser rentáveis a partir de 25 MW_e, enquanto a viabilidade económica para as centrais de gaseificação de

biomassa existe apenas a partir de 30 MW_e. Esta conclusão, sobre a tecnologia de gaseificação, é contrariada pelas conclusões do estudo Dornburg & Faaij (2001) que sugere que a produção dedicada e a cogeração não consegue competir economicamente com qualquer tecnologia de gaseificação.

Numa análise comparativa com as alternativas à biomassa – carvão, gás natural e petróleo –, a produção de calor em caldeiras ou *district heating* apenas é mais favorável em situações de elevada carga, i.e., quando existe uma procura de calor durante todo o ano (DTI, 2007). O problema nos projectos de produção de energia a partir de biomassa, em particular os de energia eléctrica, não está em determinar se são rentáveis ou não. A rentabilidade está geralmente garantida, seja por participação no financiamento, seja por uma tarifa de aquisição superior à praticada a preços de mercado. A questão para os investidores coloca-se na baixa competitividade desses projectos com os de produção de energia a partir de combustíveis fósseis. De facto, as centrais dedicadas, por exemplo, têm custos específicos (€/kWh) e custos de energia (€/GJ) mais elevados do que as suas alternativas, sendo a eficiência eléctrica inferior (Dornburg & Faaij, 2001). No entanto, pode-se prever que a competitividade irá aumentar gradualmente à medida que as externalidades forem sendo integradas no mercado e os progressos tecnológicos reduzirem essas diferenças.

A disponibilidade do recurso biomassa pode variar significativamente ao longo do ano, em particular devido às flutuações na procura anual. Em Portugal, a procura de biomassa tenderá a ser mais equilibrada porque a electricidade produzida tem pouco significado e a produção de energia eléctrica é paga a uma tarifa de aquisição independente da procura de electricidade. No entanto, em países como a Itália e a Áustria, onde há muitos lares aquecidos a estilha ou *pellets*, existem picos de consumo durante a estação fria que podem levar a ruptura dos stocks. Nessas situações, o preço da estilha e dos *pellets* pode aumentar consideravelmente, reduzindo a confiança dos consumidores nos sistemas de aquecimento a biomassa. A escassez da biomassa em Portugal, que levantará problemas financeiros aos produtores de energia, pode ocorrer por várias razões. Por um lado, os mercados recentes, como o português, levam a que haja uma certa quantidade de biomassa que não é retirada por inércia dos proprietários e empreiteiros. Embora o *stock* continue a existir na realidade, trata-se de uma quantidade de biomassa que poderá fazer a diferença no abastecimento do dia-a-dia das centrais dedicadas.

Por outro lado, tem-se assistido à exportação de quantidades significativas de biomassa nos portos de Aveiro e Sines a preços mais atractivos para os produtores de biomassa. Acresce ainda a possibilidade de entrada de mais consumidores no mercado da biomassa – para a produção de *pellets*, caldeiras comerciais e industriais, cimenteiras, etc. – que irão aumentar a concorrência pelo mesmo recurso escasso e alterar as circunstâncias de mercado que podem não ter sido previstas no planeamento da gestão das centrais dedicadas.

Do ponto de vista da sociedade, o mercado da biomassa cria um conjunto de vantagens ao nível económico, tais como (Domac & Richards, 2002):

- Segurança do abastecimento de energia
- Crescimento regional
- Equilíbrio da balança comercial regional
- Potencial de exportação
- Aumento da competitividade
- Emprego
- Criação de rendimento e riqueza
- Investimento induzido

Neste capítulo foram abordadas as vertentes ambiental e económica da sustentabilidade dos sistemas de exploração da BFR. A sustentabilidade, no entanto, inclui ainda a vertente social e à qual a biomassa pode trazer benefícios. Parte dos benefícios ambientais destes sistemas são, em última análise, melhorias do bem-estar e saúde das populações (por exemplo, redução da incidência de problemas respiratórios devido à melhoria da qualidade do ar). Também o emprego gerado, tanto nas próprias centrais como em toda a cadeia de abastecimento, permite a fixação das populações nas zonas rurais, que poderão ser beneficiadas nas áreas da educação e saúde através do investimento induzido passível de ser gerado.

5. Metodologias de avaliação do potencial de biomassa florestal residual

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 e fábricas de produção de *pellets*, 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 conjunto de metas que se pretendem alcançar, tais como a contribuição das energias renováveis na produção de energia primária ou na redução da emissão de GEE.

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 socioeconómico 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 socioeconómico 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 5.1). 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).

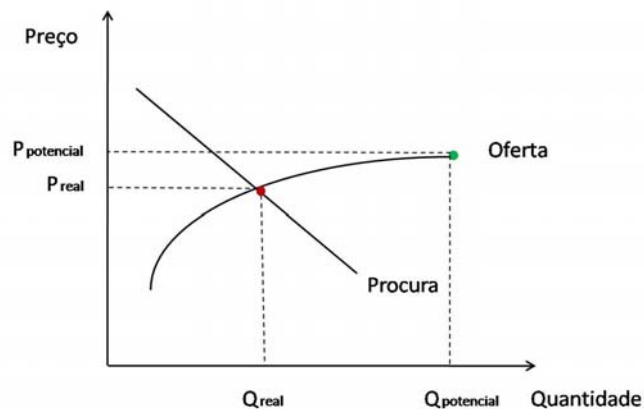


Figura 5.1 Representação da oferta potencial (a verde) e oferta real (a vermelho).

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 5.2.

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 comumente são aplicadas para estimar o potencial socio-económico, 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.

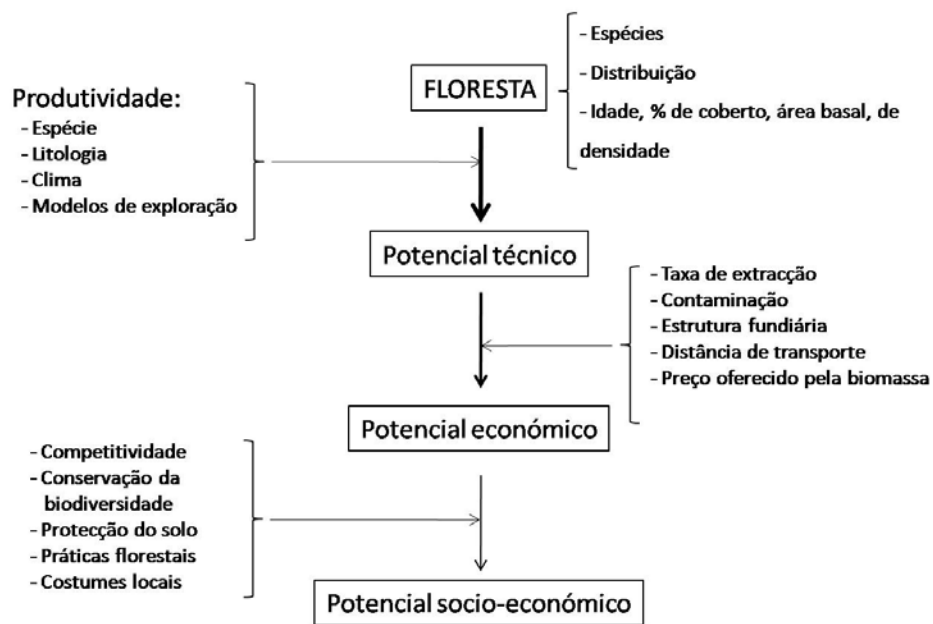


Figura 5.2 Esquema geral da metodologia para a avaliação das diferentes categorias de potencial de biomassa e respectivas condições.

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.

6. Avaliação da biomassa florestal residual para fins energéticos à escala local

6.1. Caracterização da área de estudo

6.1.1. Caracterização geral

Os três concelhos em estudo – Almeirim, Alpiarça e Chamusca – fazem parte do distrito de Santarém e situam-se na margem esquerda do rio Tejo (Figura 6.1). A área administrativa dos concelhos é aproximadamente 106 000 hectares, representando a Chamusca cerca de 70% da área de estudo.

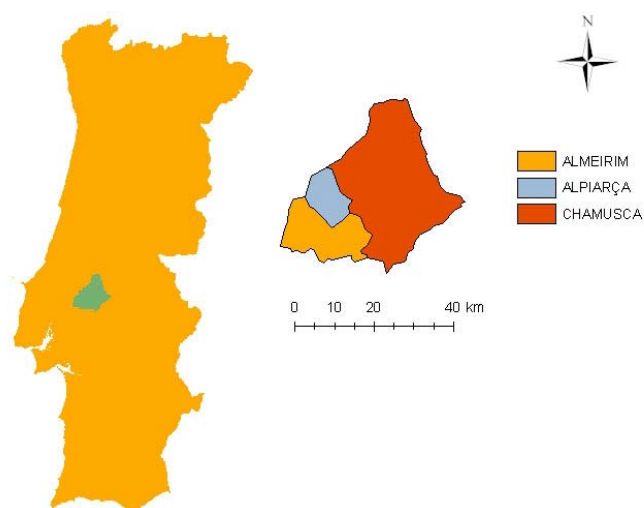


Figura 6.1 Localização da área de estudo.

A área de estudo caracteriza-se por uma altitude média de cerca de 100 metros, com 90% do território situado abaixo dos 170 metros (Figura 6.2). Podem-se considerar duas zonas distintas: a lezíria e a charneca. Numa faixa adjacente e que acompanha o rio Tejo, situam-se áreas planas e de baixa altitude, à excepção da região norte do concelho da Chamusca. A altitude vai aumentando no sentido NW-SE. A charneca, por contraposição com a lezíria, constitui a restante parte do território e é caracterizada por uma altitude relativamente mais elevada e variável, com ocupação florestal nas encostas e agrícola nos vales.

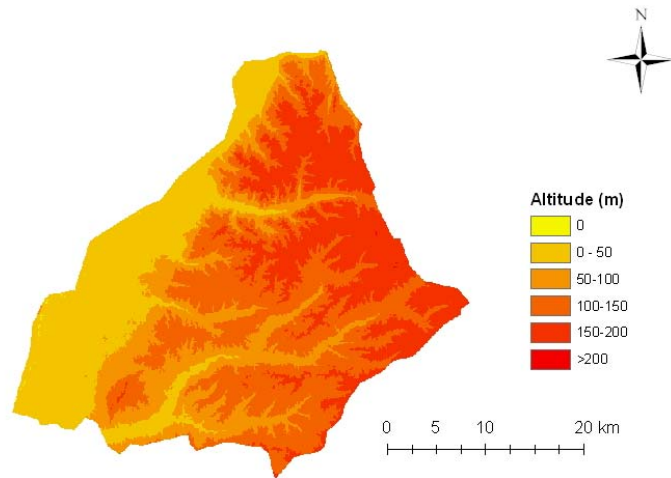


Figura 6.2 Carta topográfica da área de estudo.

Não obstante o facto de se tratar de uma região com declives suaves, existem na realidade zonas de declive acentuado e que não é possível identificar com recurso a SIG devido à baixa resolução (90 m) do modelo digital de terreno usado. Existem, também, várias ravinas com uma extensão local causadas pela acção contínua das chuvas intensas que ocorrem na região.

Quanto à litologia da área de estudo, apresentada na Figura 6.3, na zona de charneca podem-se observar unidades geomorfológicas do Plistocénico (depósitos de terraços fluviais), do Pliocénico (arenitos e conglomerados) e do Miocénico superior (argilas e arenitos) (Euroteam & Agrogos, 1999). A lezíria caracteriza-se por formações do Holocénio. A zona de transição entre a charneca e o campo é constituída por terraços Quaternários e areias superficiais.

Relativamente aos solos, a área de estudo é constituída essencialmente por podzóis, com ou sem surraipa, solos mediterrâneos vermelhos, solos litólicos e aluissolos. Os três primeiros tipos de solo são característicos da charneca, enquanto que os aluviões estão presentes na lezíria e no fundo dos vales das ribeiras afluentes ao rio Tejo (Coelho, 1996; Euroteam & Agrogos, 1999).

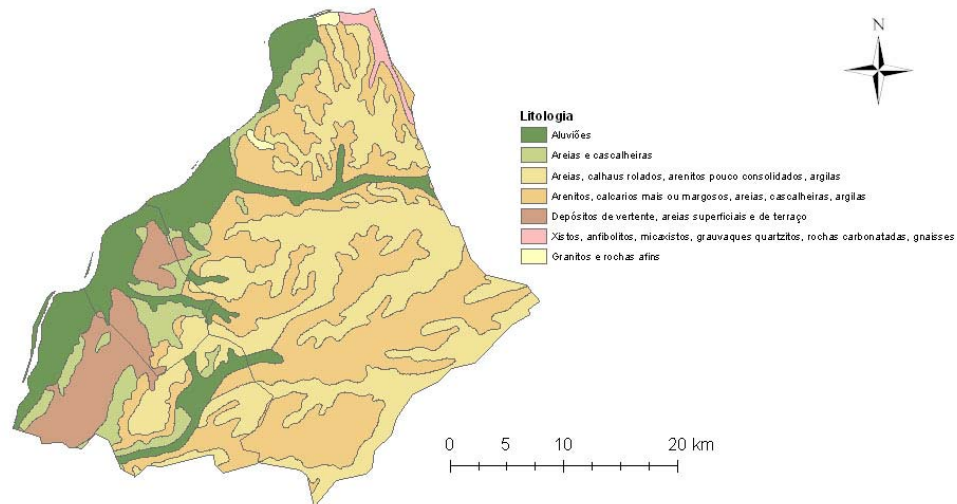


Figura 6.3 Carta litológica da área de estudo (Euroteam & Agroges, 1999).

O clima é marcadamente do tipo mediterrânico, caracterizado por um Inverno frio e chuvoso e um Verão seco e quente. A análise dos dados dos últimos 30 anos da estação meteorológica de Abrantes permite constatar que a temperatura média anual é de 16,1 °C. A temperatura média mensal máxima ocorre em Agosto com 23,5 °C e o mês mais frio é Janeiro com uma temperatura média mensal de 9,2 °C (SNIRH, 2007), como se mostra na Figura 6.4.

A precipitação concentra-se principalmente nos primeiros cinco meses do ano hidrológico – de Outubro a Fevereiro – e a precipitação média anual dos últimos 30 anos é de 675 mm, tendo em conta dados das estações meteorológicas de Abrantes, Almeirim e Chouto, como ilustrado na Figura 6.4.

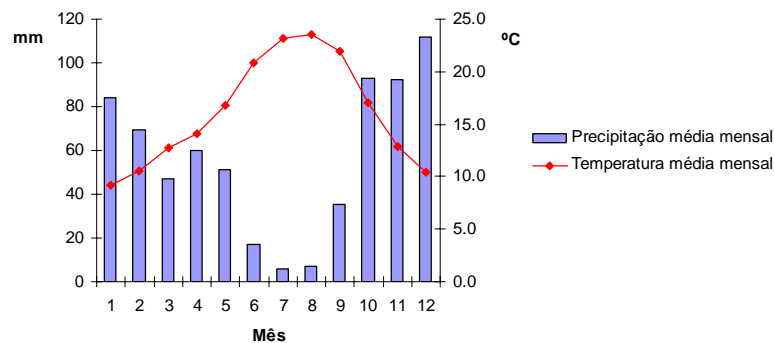


Figura 6.4 Precipitação (Abrantes, Almeirim e Chouto) e temperatura médias (Abrantes) mensais para o período de 1976-2006 (SNIRH, 2007).

O rio Tejo é o sistema fluvial de maior importância e que estabelece a fronteira a norte e a oeste dos três concelhos. O território tem várias linhas de água identificadas nas cartas militares, pese embora o facto de muitas serem linhas de água de regime torrencial. As linhas de água permanentes e de maior relevância na área de estudo são a ribeira de Ulme e a ribeira de Muge. É possível constatar, ainda, uma enorme profusão de sistemas lânticos, sendo possível identificar mais de 300 albufeiras só no concelho da Chamusca (Euroteam & Agrogos, 1999).

Em termos gerais, cerca de dois terços da área de estudo está ocupada com floresta e aproximadamente 31% são zonas agrícolas (Quadro 6.1). Os matos, equipamento social e zonas de água representam pouco mais de 4,5 % do território. Ao nível do concelho, Alpiarça é um concelho predominantemente agrícola por grande parte da sua área estar próxima do rio Tejo e, portanto, onde a capacidade de uso do solo é mais elevada (Figura 6.5). O concelho da Chamusca, por outro lado, tem uma ocupação maioritariamente florestal e possui mais de 85% de toda a área florestal da região em estudo.

Quadro 6.1 Área dos três concelhos por classe de uso do solo (em hectares) (Costa, 1999, 2007).

Classe	Almeirim	Alpiarça	Chamusca	Total
Agricultura	12434	6869	13741	33044
Floresta	8620	2035	57450	68105
Água	359	289	973	1621
Matos	346	-	1158	1504
Social	939	459	366	1764
				106038

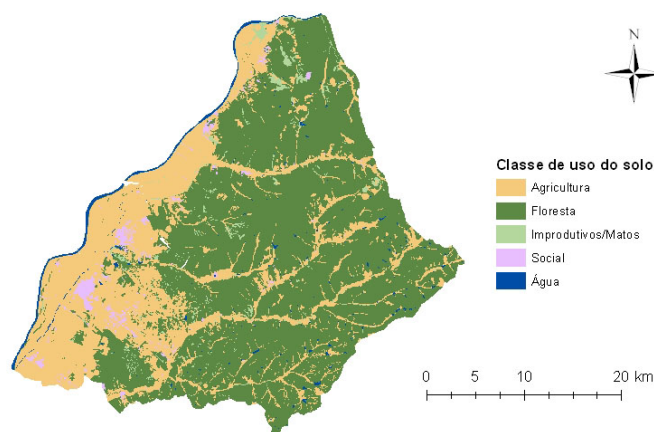


Figura 6.5 Carta de ocupação do solo da área de estudo (Costa, 1999; 2007).

6.1.2. Caracterização florestal

A análise do Quadro 6.2 permite constatar que as classes florestais de ocupação do solo que dominam a região são os povoamentos puros de eucalipto e de montado de sobro e que em conjunto representam quase 70% da floresta existente. É de salientar o facto de que a representatividade do eucalipto é maioritariamente através de povoamentos puros, enquanto que o sobreiro tem ainda, para além do montado, uma área considerável na qual está presente em povoamentos mistos, quer como espécie dominante, quer como espécie dominada. O pinheiro representa cerca de 10 300 hectares (8,4%) da região, incluindo os povoamentos mistos como espécie dominante. A restante área florestal, aqui designada como “Outra floresta”, engloba pequenos núcleos dispersos e que inclui as galerias ripícolas e os povoamentos de folhosas e resinosas (Figura 6.6). Entre as espécies que estão englobadas nesta classe, podem-se destacar o freixo, o choupo, o salgueiro e o cipreste.

Quadro 6.2 Ocupação florestal por concelho e classe florestal (em hectares) (Costa, 1999, 2007).

Ocupação	Almeirim	Alpiarça	Chamusca	Total (ha)	Total (%)
Eucalipto	3227	501	19491	23219	34,1
Povoamentos mistos de eucalipto e sobro	340	22	318	680	1,0
Povoamentos mistos de eucalipto e pinheiro	243	54	63	360	0,5
Montado de sobro	2663	740	20407	23810	35,0
Povoamentos mistos de sobro e eucalipto	169	10	1105	1284	1,9
Povoamentos mistos de sobro e pinheiro	300	65	5956	6321	9,3
Pinheiro	609	193	4913	5715	8,4
Povoamentos mistos de pinheiro e eucalipto	268	27	1105	1400	2,1
Povoamentos mistos de pinheiro e sobro	121	45	2969	3135	4,6
Outra floresta	548	351	1282	2181	3,2

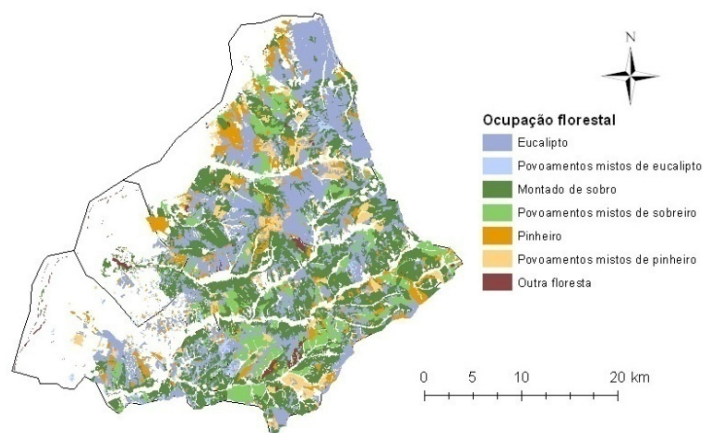


Figura 6.6 Ocupação florestal da área de estudo (Costa, 1999; 2007).

6.2. Metodologia

Como referido anteriormente, o presente trabalho reparte-se em dois objectivos principais (Figura 6.7): 1) quantificar a produção potencial de biomassa florestal residual (BFR) nos concelhos de Alpiarça, Almeirim e Chamusca; e 2) proceder à análise da quantidade de BFR disponível, ou seja, a que é economicamente viável explorar em seis locais de consumo. Esta análise consiste, entre outros, na construção das curvas de oferta anuais, na determinação dos raios de abastecimento e na determinação do lucro médio da BFR para o produtor. Os locais de consumo de BFR são (i) os quatro locais possíveis do concurso público para a instalação da central a biomassa no distrito de Santarém, (ii) a central a biomassa de Constância (CAIMA) de 13 MWe e (iii) a central do Pego, a carvão. Complementarmente, para a central do Pego foi feita uma análise relativamente à potencial vantagem económica na co-combustão de carvão e biomassa florestal.

Neste trabalho, tal como definido no capítulo anterior, 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.

O conceito de BFR utilizado neste trabalho considera apenas os ramos, folhas e bicadas. A bicada é, neste trabalho, 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 toijas, no caso do eucalipto.

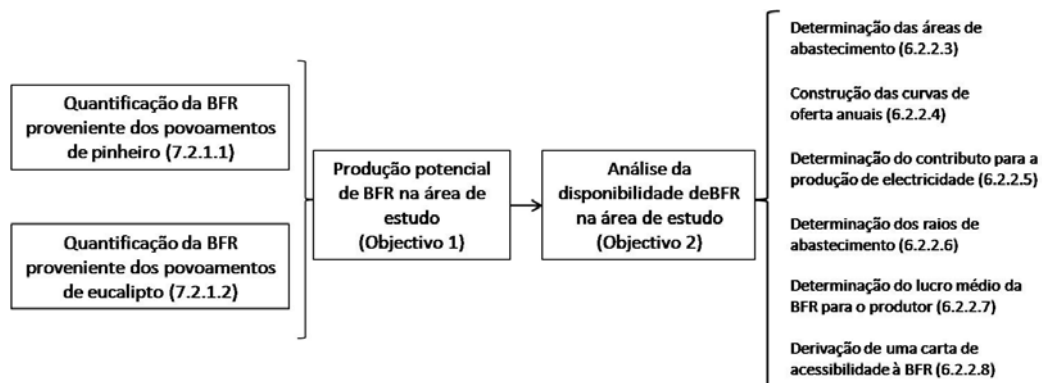


Figura 6.7 Esquema geral dos objectivos e sub-objectivos do trabalho.

6.2.1. 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 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 sobreiro 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.

6.2.1.1. 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 e 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 6.3.

Quadro 6.3 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 6.3 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 perna de uma árvore (Figura 6.8) 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 6.8 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 °C 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 (R^2) mais elevado e que melhor explicasse o comportamento da variável em estudo, a BFR. A variável dependente que apresentou um R^2 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 & Tecinvest, 1985)

Em que,

$AT = \text{altura total (m)}$

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

Em que,

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

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 apresentada na Figura 6.9.

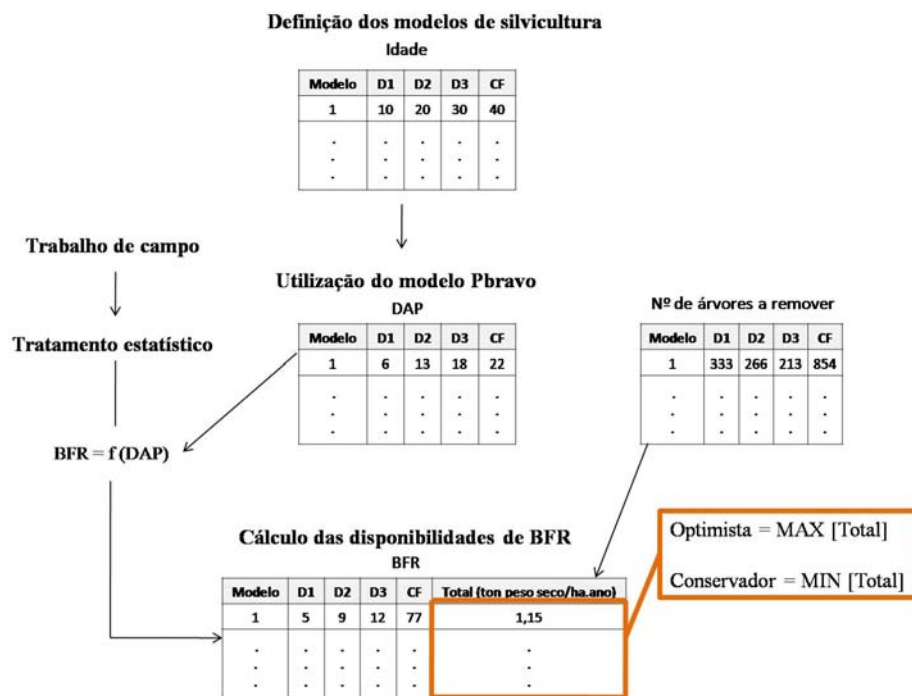


Figura 6.9 Esquema da metodologia implementada para a avaliação das disponibilidades de BFR para os povoamentos de pinheiro bravo.

6.2.1.2. 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 (W_i) como a soma da

biomassa do tronco (W_{tronco}) e da biomassa da copa (W_{copa}), 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 (h_{dom}) e área basal (G) – são estimados por outras equações do modelo, apresentadas em Tomé *et al* (2001).

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

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

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

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

Em que,

W_t = 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 6.4. 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 quatro 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 6.4 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

6.2.2. 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.

6.2.2.1. 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 6.10 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 6.10 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).

6.2.2.2. Preparação dos dados num SIG

Dado que a análise se suportou num SIG, foi necessário construir a base de dados espaciais, incluindo a rede viários e os locais de consumo. A rede viária dos três concelhos, incluiu dois tipos de estradas – estradas alcatroadas e caminhos florestais – a que correspondem diferentes custos de transporte. A rede viária foi construída no ArcMap (ESRI) através das cartas militares georeferenciadas. A construção da rede viária foi complementada com imagens do Google Earth para desenhar estradas mais recentes e que não estavam incluídas nas cartas militares utilizadas, assim como para verificar, em casos pontuais, o tipo de estrada. À tabela associada à rede viária foi acrescentado um campo para armazenar o custo de transporte em cada troço. Para os caminhos florestais, assumiu-se um aumento do custo de 25% para reflectir o acréscimo de tempo de transporte e de desgaste nos veículos. No caso das auto-estradas (A1 e A8), foram imputadas as portagens de ida e volta para veículos da classe 4.

Os locais de consumo ou pontos de origem são os quatro locais possíveis para a instalação da central a biomassa estabelecidos no concurso da DGGE (2006e) – Vila Moreira, Alcanede, Almeirim e Rio Maior –, assim como a central de Constância (CAIMA) e a central do Pego (Figura 6.11). Estas duas foram inseridas com o auxílio das cartas militares, enquanto que os restantes locais foram inseridos no centro de cada uma das localidades a que se referiam. A localização exacta não é relevante dado que havia a possibilidade dos concorrentes se instalarem até 10 km de distância do ponto de ligação.

Importa ainda referir que a base de dados SIG inclui as cartas de ocupação florestal, produzidas através da fotointerpretação de ortofotomapas datados de 1998, no caso da Chamusca, e 2006, para Alpiarça e Almeirim (Costa, 1999; 2007). As cartas foram ajustadas de modo a considerar apenas os povoamentos puros de pinheiro e eucalipto. Foi considerada a classe de pinheiro sem distinção entre pinheiro bravo e pinheiro manso.

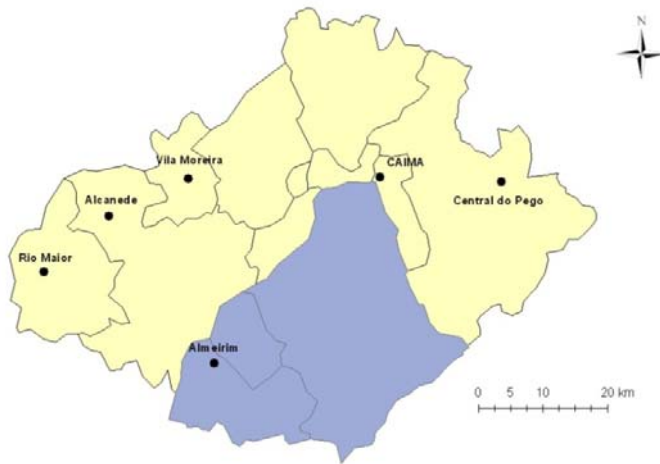


Figura 6.11 Localização dos pontos de consumo de BFR.

6.2.2.3. Determinação das áreas de abastecimento

A área de abastecimento de uma central define-se como a área onde uma determinada variável é inferior ou igual a um determinado *break value*, sendo que, no caso presente, este valor se refere ao custo unitário da BFR (€/t). No caso concreto da BFR, foram calculadas as áreas de abastecimento de BFR para os seis pontos de origem, tendo em conta que cada ponto tinha já um custo inicial (€/t), igual ao custo de transporte primário e trituração determinado na primeira fase para os cenários Optimista e Conservador. Com recurso à extensão *Network Analyst* do ArcMap, obtiveram-se as áreas de abastecimento para cada um dos seis pontos, com *break values* desde o custo inicial até um valor que permitisse abranger toda a área de estudo, em intervalos de 0,20 €/t.

A Figura 6.12 apresenta um esquema do modelo utilizado para automatizar o cálculo das áreas de abastecimento e a construção das curvas de oferta. Numa primeira fase, foi preciso introduzir os parâmetros que definiam as áreas de abastecimento, nomeadamente o local de consumo, custo inicial da BFR e intervalos de classes de custo a gerar. O *Network Analyst* gera, para cada local de consumo, as áreas de abastecimento em função do custo da BFR. Posteriormente, foi necessário converter os dados obtidos em formato *raster* e combinar essa informação com a ocupação do solo. A Carta Final é um ficheiro que contém todas as combinações entre as classes de ocupação do solo e o custo da BFR.

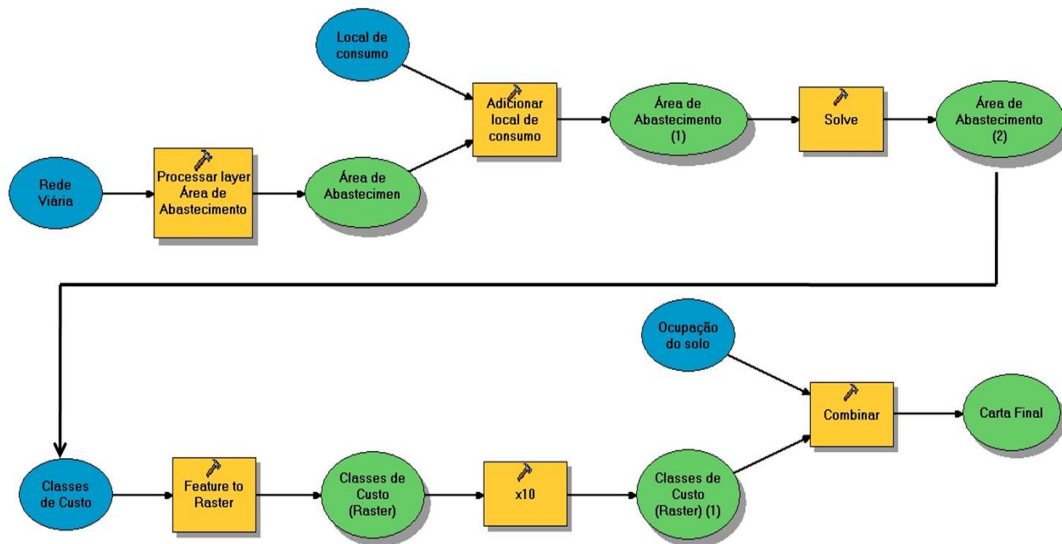


Figura 6.12 Modelo para automatização do cálculo das áreas de abastecimento por custo.

6.2.2.4. Construção das curvas de oferta anuais

A curva de oferta de BFR define-se pelo valor da disponibilidade de biomassa florestal para cada *break value* (€/t). A primeira etapa na construção das curvas de oferta foi o tratamento dos dados provenientes do ArcMap. A carta das áreas de abastecimento, obtida pelo processo descrito na secção anterior (Figura 6.12), tem associada uma tabela com todas as combinações possíveis entre as classes de custo e a ocupação do solo. Note-se que foi necessário converter os dados de modo a obter uma tabela com a ocupação do solo em linhas e as classes de custo em colunas, em que os valores apresentados eram cumulativos para cada linha.

Para cada área de abastecimento obtida, as áreas de pinheiro e de eucalipto estimadas para cada classe de custo foram multiplicadas pelos valores de produção anual (toneladas secas por hectare e por ano), obtidos no ponto 6.2.1, para obter a produção total anual (toneladas secas por ano). Para melhor reflectir as taxas de extracção reais, multiplicaram-se as produções por 0,7 (Wall & Nurmi, 2003). As curvas de oferta foram apuradas para os cenários Optimista e Conservador em energia (TJ). A conversão de toneladas (t ms.ano⁻¹) para energia foi feita tendo em conta o poder calorífico superior médio obtido em quatro amostras para cada espécie (Quadro 6.5) e convertendo-o em poder calorífico inferior (PCI) em função da humidade, que se assumiu ser 45%. O PCI em função da humidade foi determinado através da seguinte fórmula (Rosillo-Calle *et al*, 2007):

$$PCI = PCS \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) - 2,447 \times \frac{H}{100} - 2,447 \times \frac{h}{100} \times 9,01 \times \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad (6.5)$$

Em que,

PCI = Poder calorífico inferior (MJ/kg)

PCS = Poder calorífico superior (MJ/kg ms)

H = Humidade (% base húmida)

h = hidrogénio (%)

Quadro 6.5 Poder calorífico superior para BFR de eucalipto e pinheiro bravo (CBE, 2007b).

Tipo de amostra	PCS ms (MJ/kg)	Hidrogénio (%)	PCS ms (média) (MJ/kg)	Hidrogénio (média) (%)
BFR de eucalipto	17,0	6,39	17,4	6,54
BFR de eucalipto	18,5	6,50		
BFR de eucalipto	17,5	6,61		
BFR de eucalipto	16,6	6,65		
BFR de pinheiro	17,3	6,19	18,4	6,24
BFR de pinheiro	19,4	5,55		
BFR de pinheiro	19,1	6,63		
BFR de pinheiro	17,8	6,59		

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

Um dos objectivos do trabalho é avaliar qual o contributo da área de estudo no fornecimento de BFR às centrais propostas e existentes. Para o fazer foi necessário estimar as necessidades de BFR das centrais, em função das suas características técnicas, e a produção potencial de energia da área de estudo. A equação para calcular a necessidade energética anual de uma central é:

$$Q_{in} = \frac{P \times f \times 31536}{e_{el} \times 1000} \quad (6.6)$$

Em que,

Q_{in} = necessidade energética anual (TJ.ano⁻¹)

P = potência máxima da central (MW_e)

f = factor de utilização

e_{el} = eficiência eléctrica da central

Assumindo um factor de utilização de 0,90 (equivalente a 330 dias de funcionamento por ano) (Gan e Smith, 2006), foi possível calcular as necessidades energéticas anuais a partir da potência máxima de cada central (Quadro 6.6). Para as centrais de combustão dedicada, a eficiência eléctrica que se assumiu foi de 25% (Caputo *et al*, 2004). Para a central do Pego foi admitida uma substituição de carvão por BFR de 5%, ou seja, a potência substituída é igual a 5% da sua potência máxima (628 MW_e). Assumiu-se que a eficiência eléctrica é reduzida de 38% para 35% devido à substituição de carvão por BFR (Tejo Energia, 2007). O factor de utilização assumido foi de 0,92 (Tejo Energia, 2007).

Quadro 6.6 Parâmetros utilizados no cálculo das necessidades energéticas anuais das seis centrais em estudo.

Central	Potência (MW _e)	Eficiência eléctrica (e_{el})	f	Q _{in} (TJ)
Almeirim	6,0	0,25	0,90	684,3
Rio Maior	6,0	0,25	0,90	684,3
Alcanede	6,0	0,25	0,90	684,3
Vila Moreira	6,0	0,25	0,90	684,3
CAIMA	13,0	0,25	0,92	1482,6
Central do Pego	31,4	0,35	0,829	2605,4

A produção potencial de energia da área de estudo é estimada considerando a produção de BFR em cada cenário, a taxa de extracção e o PCI da BFR (Quadro 6.5). Logo, a seguinte equação traduz a produção potencial de energia da área de estudo:

$$E_{pot} = (BFR_{ec;\%BFR} \times PCI_{ec;\%BFR} + BFR_{pb;\%BFR} \times PCI_{pb;\%BFR}) \times t_{extracção} \quad (6.7)$$

Em que,

E_{pot} = produção potencial de energia (TJ. ano⁻¹)

$BFR_{ec;\%BFR}; BFR_{pb;\%BFR}$ = produção de BFR de eucalipto e pinheiro em função da % de humidade

$PCI_{ec;\%BFR}; PCI_{pb;\%BFR}$ = poder calorífico inferior BFR de eucalipto e pinheiro em função da % de humidade

$t_{\text{extração}} = \text{taxa de extração de BFR e considerada igual a } 0,7$

O contributo da área de estudo para a produção de electricidade foi avaliado quanto ao contributo potencial e real. O abastecimento potencial representa a percentagem de energia que toda a área de estudo pode produzir, em função da necessidade energética anual de cada central. O abastecimento real, por outro lado, corresponde à percentagem de energia que a área de estudo pode fornecer e considerando o preço oferecido pela central.

O preço oferecido pelas centrais corresponde ao *Willingness to pay* (WTP) e foi assumido como constante, independentemente da quantidade de BFR procurada. Assumindo um preço de energia de 3,26 €/GJ (Alakangas, 2007), foi possível estimar o preço por tonelada através dos resultados obtidos no Quadro 6.5. Dado que o PCI da BFR de eucalipto e pinheiro bravo são diferentes, optou-se por fazer uma média ponderada pelas respectivas fracções de produção de BFR na área de estudo. Este preço é adiante designado por WTP do consumidor.

6.2.2.6. Determinação dos raios de abastecimento

Os raios de abastecimento são importantes para determinar expeditamente a área de abastecimento de uma central. Pretendeu-se determinar para o local de consumo de Almeirim qual o raio de abastecimento real e em linha recta, para os dois cenários e em função do preço oferecido (WTP).

Para as duas cartas das áreas de abastecimento da central de Almeirim (cenários Optimista e Conservador), foram determinadas manualmente no SIG as distâncias médias real e em linha recta para cada classe de custo. A partir dos valores obtidos, ajustaram-se, através do Microsoft Excel, as rectas de regressão linear para a distância em linha recta e que na prática constituem funções de custo marginal. Estas funções relacionam a distância de transporte da BFR com o seu custo final. As distâncias máximas de abastecimento em linha recta foram estimadas através da resolução das funções de custo marginal considerando o WTP do consumidor. Foi também estimado o índice de tortuosidade que é igual ao quociente entre a distância real percorrida por estrada e a distância em linha recta.

A análise limitou-se a Almeirim porque era o único ponto para o qual a rede viária estava completamente desenvolvida e onde a análise podia ser considerada representativa. A mesma análise não pôde ser feita para os restantes pontos porque

estes se encontram fora da área de estudo e, portanto, para estes a rede viária está incompleta.

6.2.2.7. Determinação do lucro médio da BFR para o produtor

A metodologia indicada para estimar o custo total da BFR não inclui o custo da matéria-prima (*stumpage price*). Tal deve-se ao facto de não haver informação sobre esse valor, mas também porque se assumiu de início que, sendo a BFR um resíduo, não existem usos concorrentes, para além dos serviços ambientais, e, como tal, o seu valor é nulo. Neste sentido, a diferença entre o WTP do consumidor e o custo final da BFR (equivalente ao *Willingness to accept*) corresponde ao lucro do produtor. Note-se que se está a assumir que o preço de mercado é igual ao WTP do consumidor e que este é constante em função da quantidade.

Para determinar o lucro médio da BFR para o produtor é necessário transformar as funções de custo marginal, obtidas na secção 6.2.2.6, para relacionar o custo final da BFR com a quantidade de BFR. Sendo a densidade energética definida como a quantidade de energia por unidade de área, é possível converter o raio de abastecimento em quantidade de energia como indica a Eq. 6.10. A função de custo marginal em ordem à distância em linha recta até à central (Eq. 6.8) pode, então, ser convertida noutra em função da quantidade de BFR consumida (Eq. 6.12). Nesta análise assumiu-se que a densidade energética anual é igual à densidade energética da área de estudo.

$$C_m = a \times D + b \quad (6.8)$$

$$Q_{in} = \frac{Q_{BFR;\%H} \times PCI_{BFR;\%H}}{1000} \quad (6.9)$$

$$D = \sqrt{\frac{Q_{in}}{\pi \times e}} \quad (6.10)$$

$$e = \frac{Q_{potencial}}{A_{estudo}} \quad (6.11)$$

$$C_m = a \times \sqrt{\frac{Q_{BFR;\%H} \times PCI_{BFR;\%H}}{\pi \times e \times 1000}} + b \quad (6.12)$$

Em que,

C_m = função de custo marginal; custo marginal (€/t)

$a; b$ = parâmetros da função de custo marginal

D = raio de abastecimento (km)

Q_{in} = necessidade energética anual ($TJ \cdot ano^{-1}$)

$Q_{BFR;\%H}$ = quantidade de BFR anual em função da %de humidade (t. ano⁻¹)

PCI = poder calorífico inferior (GJ/t)

e = densidade energética anual (TJ/km² .ano)

$Q_{potencial}$ = energia potencial anual (TJ. ano⁻¹)

A_{estudo} = área de estudo (km²)

A função de custo marginal fornece o custo da última tonelada disponível para o consumo de BFR de uma central.

O lucro total da venda de BFR (Eq. 6.15) é igual à diferença entre a receita e o custo totais (Eq. 6.13 e 6.14). Para o cálculo da receita total (RT) foi assumido que o preço de mercado (P_M) é igual ao WTP do consumidor. O quociente entre o lucro total e a quantidade de BFR comercializada é igual ao lucro médio unitário da BFR e que pode ser considerado o valor da matéria-prima (Eq. 6.16). A Figura 6.13 apresenta graficamente o lucro e o custo totais.

$$RT = \int_0^{Q_{BFR;\%H}} P_M dQ \quad (6.13)$$

$$CT = \int_0^{Q_{BFR;\%H}} C_m dQ \quad (6.14)$$

$$LT = RT - CT \quad (6.15)$$

$$L_{BFR;\%H}(\text{€/t}) = \frac{LT}{Q_{BFR;\%H}} \quad (6.16)$$

Em que,

RT = receita total (€)

P_M = preço de mercado; WTP do consumidor (€/t)

CT = custo total (€)

LT = lucro total (€)

$L_{BFR;\%H}$ = lucro médio da BFR para o produtor em função da % de humidade

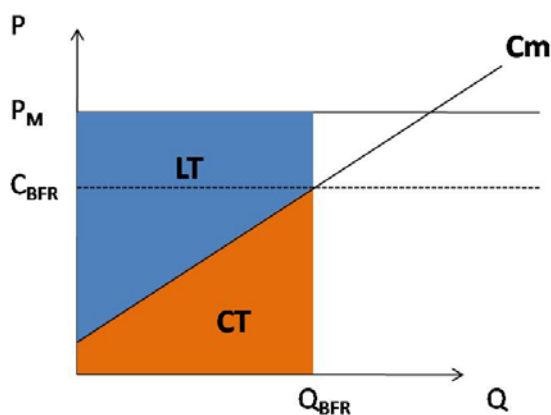


Figura 6.13 Representação do lucro total (LT) e do custo total (CT). A BFR é comprada ao preço de mercado (P_M) e a quantidade, Q_{BFR} , representa a BFR necessária para satisfazer o consumo de uma central.

Esta análise, porque se fundamenta na função de custo marginal estimada para a central de Almeirim, só foi efectuada para essa central. Como a quantidade potencial de energia varia consoante o cenário, utilizaram-se dois valores distintos para a densidade energética, permitindo obter um intervalo para o lucro médio da BFR.

6.2.2.8. Derivação de uma carta de acessibilidade à biomassa florestal residual

No contexto desta análise, entende-se por acessibilidade à BFR a facilidade com que as centrais poderão explorar um determinado local da área de estudo, em função do seu custo final. Assim, as áreas mais distantes das centrais são mais inacessíveis em termos de custo e potencialmente sub-exploradas. Para existir maior relação com a realidade, esta análise restringiu-se aos três locais de consumo que estão ou irão estar em funcionamento: a central de Rio Maior, a central da CAIMA e a central do Pego.

Cada uma das três cartas das áreas de abastecimento foi reclassificada em três classes iguais com os valores 1,2 e 3, correspondendo a classe 1 ao terço da área de estudo onde custo final da BFR é mais reduzido. As três cartas reclassificadas foram somadas e a carta resultante foi novamente reclassificada em três classes iguais (boa, moderada e má). A classe “boa” representa o terço das classes onde o custo final da BFR é mais baixo.

6.2.3. Análise da viabilidade económica da co-combustão na central do Pego

Na análise económica da co-combustão de carvão e biomassa, é necessário ter em conta que, comparativamente com o carvão, a biomassa é um combustível mais barato e para o qual a emissão de CO₂ é considerada neutra. Por outro lado, o seu poder calorífico é cerca de 1/3 do poder calorífico do carvão e são necessárias alterações na central que implicam um investimento significativo.

Assim, a análise feita é uma comparação, de base anual, dos custos de compra de carvão e das licenças de emissão CO₂ com os custos de compra de BFR e para uma substituição de 5% em equivalência energética. Independentemente de a central ter excesso ou escassez de licenças de emissão em relação às suas emissões reais, a co-combustão representa um acréscimo das receitas de venda de licenças ou uma poupança nas licenças que terá que comprar. Em qualquer um dos casos, a co-combustão representa um igual ganho ou poupança.

Foram assumidos os seguintes pressupostos:

- Poder calorífico do carvão betuminoso: 26,59 GJ/t (IPCC, 2000);
- Custo do carvão (à porta da central): 66,07€/t (Wright, 2007);
- Para o cálculo das emissões de CO₂, de acordo com a Portaria nº121/2005, assumiu-se a seguinte equação:

$$E(tCO_2) = Energia(TJ) \times Factor\ de\ emiss\tilde{a}o(tCO_2.TJ^{-1}) \times Factor\ de\ oxida\tilde{c}\tilde{a}o$$

- Utilizou-se um factor de emissão de 95,44 tCO₂.TJ⁻¹ (Henriques, 2007) e um factor de oxidação de 0,99 (Portaria nº121/2005);
- Foi utilizado um intervalo de custo de emissão de CO₂ de 12 €/tCO₂ (preço dos Redução de Emissão Certificada no mercado internacional), 16 €/tCO₂, 20 €/tCO₂ (preço de referência nos estudos da Comissão Europeia) e 24 €/tCO₂ (preço dos futuros de licenças para o período de 2008-2012);
- O preço da BFR assumido foi de 3,26 €/GJ e representa o preço médio de Junho de 2005 (Alakangas *et al*, 2007). O custo da biomassa é dado pelo produto da energia a substituir (TJ) e do custo da energia (€/GJ).
- O custo de investimento para a co-combustão de biomassa no Pego para uma substituição de 5% é de 5,4 M€ e o aumento nos custos operacionais é de 0,15 M€ (Pereira, 2006).

- Assumiu-se uma taxa de actualização de 10%.

O valor actualizado líquido é igual ao somatório dos *cash flows* anuais subtraído do custo de investimento. O *cash flow* anual líquido é, neste caso, a diferença entre a soma dos custos de aquisição de carvão e dos custos de aquisição de licenças de emissão, e a soma dos custos de aquisição de BFR e dos custos operacionais (6.17):

$$C = C_{\text{carvão}} + C_{\text{CO}_2} - C_{\text{BFR}} - C_{\text{operacionais}} \quad (6.17)$$

Em que,

C = *cash flow anual líquido*

$C_{\text{carvão}}$ = *custo da aquisição de carvão*

C_{CO_2} = *custo das licenças de CO₂*

C_{BFR} = *custo da aquisição de BFR*

$C_{\text{operacionais}}$ = *custos operacionais*

O valor actualizado líquido (VAL) é igual ao somatório dos *cash flows* anuais líquidos actualizados subtraído do custo de investimento:

$$VAL = \sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+i)^n} - C_{\text{investimento}} \quad (6.18)$$

Em que, C = *cash flow anual líquido*

i = *taxa de actualização*

n = *ano do cash flow*

$C_{\text{investimento}}$ = *custo de investimento*

Para avaliar o efeito do preço da BFR na viabilidade da co-combustão, efectuou-se uma análise de sensibilidade em que se considerou preços de 25 €/t, 27,5 €/t e 30 €/t. Esta análise da viabilidade realizou-se com os mesmos pressupostos e metodologia acima apresentados.

7. Resultados e discussão

7.1. 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% ($\pm 3,1\%$).

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 (R^2) foi obtida logaritimizando 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)

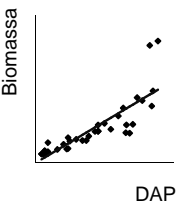
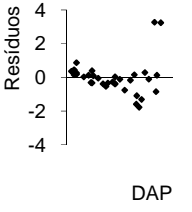
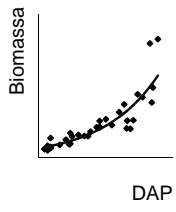
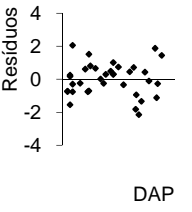
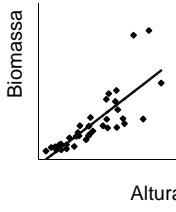
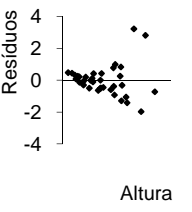
DAP = diâmetro à altura do peito (cm)

$\beta_0; \beta_1$ = parâmetros da equação

A escolha foi baseada não só no facto de ter apresentado o R^2 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 (Quadro 7.1 b)).

Comparando a equação escolhida com outras duas recolhidas da bibliografia, constata-se que a equação estima valores de BFR semelhantes para DAP até 15 cm (Figura 7.1). Dado que se trata de uma regressão linear de valores logaritimizados, para DAP superiores a 15 cm a equação estima valores mais elevados do que as outras duas equações.

Quadro 7.1 Características das três equações de biomassa ajustadas (valores de biomassa em kg ms/árvore; DAP em cm; altura em metros).

$BFR = \beta_0 + \beta_1 \times DAP$ $\beta_0 = -34,4487$ $\beta_1 = 4,2608$ a) $\sigma = 16,98 \text{ kg ms /árvore}$ $R^2 = 0,699$		
$BFR = e^{(\beta_0 + \beta_1 \times DAP)}$ $\beta_0 = 0,9054$ $\beta_1 = 0,1115$ b) $\sigma = 1,29 \text{ kg ms /árvore}$ $R^2 = 0,876$		
$BFR = \beta_0 + \beta_1 \times Altura$ $\beta_0 = -53,5297$ $\beta_1 = 7,8968$ c) $\sigma = 18,77 \text{ kg ms /árvore}$ $R^2 = 0,632$		

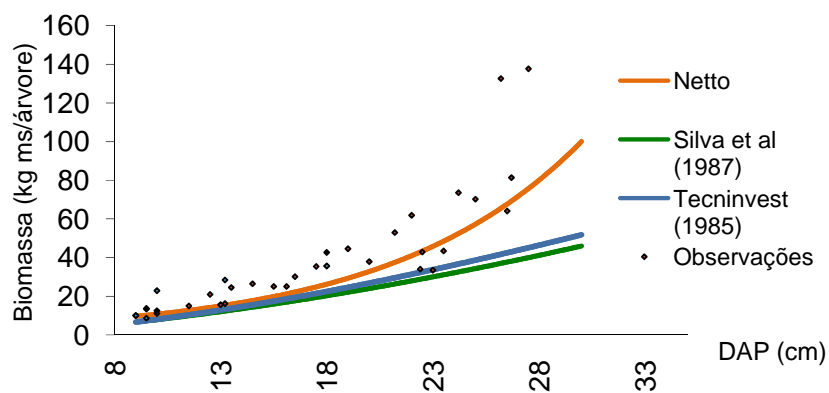


Figura 7.1 Comparação entre a equação de biomassa obtida com duas equações da bibliografia.

O Quadro 7.2 apresenta (i) o DAP médio em cada desbaste ou corte final, calculado em função das características de cada modelo através do Pbravo, e (ii) 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.

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.

Quadro 7.2 Produção total de BFR de pinheiro bravo e apresentação dos valores intermédios utilizados para o seu cálculo (Nota: D1, D2, D3 e CF definidos no Quadro 6.3).

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			

Do mesmo modo, o Quadro 7.3 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 7.3 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 7.4).

Quadro 7.4 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 7.5). Estes valores ainda não consideram uma taxa de extracção de 70%.

Quadro 7.5 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

7.2. Determinação da disponibilidade de biomassa florestal residual

7.2.1. 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 7.6). 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 7.6 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				
	Tractor agrícola	6,63			33%	66%
		8,53				
7,69						
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 (Eq. 7.2 e Figura 7.2).

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

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

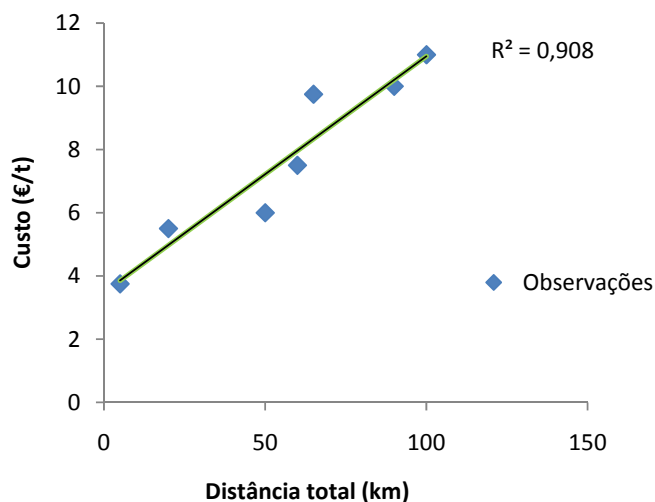


Figura 7.2 Custos de transporte secundário (€/t) em função da distância entre o carregadouro e unidade consumidora

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 7.3). 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 7.4). Importa referir que o transporte primário representa entre 32 e 36%, mas que estes valores não têm em conta diferentes distâncias de transporte.

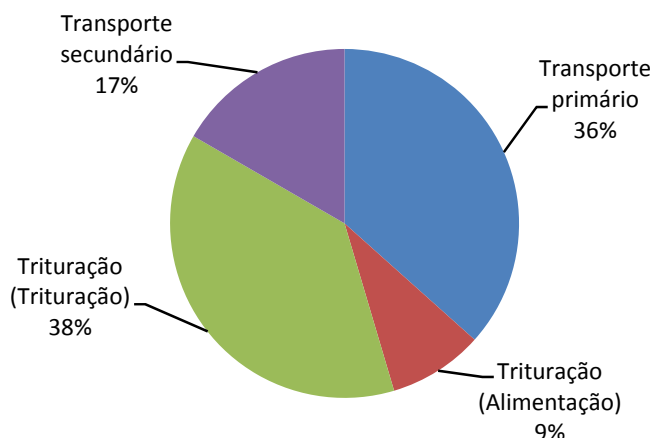


Figura 7.3 Estrutura de custos da BFR para o cenário Optimista (%/t.km)

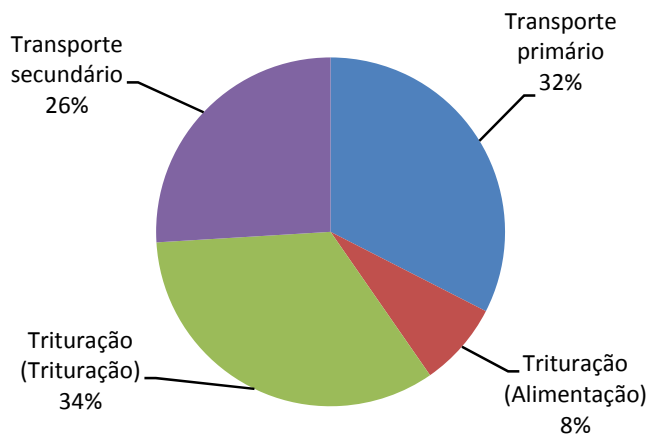


Figura 7.4 Estrutura de custos de BFR para uma distância de transporte secundário de 35 km e para o cenário Optimista.

7.2.2. Determinação das áreas de abastecimento

As áreas de abastecimento, ilustradas para o caso de Vila Moreira nas Figuras 7.5 e 7.6, e para os restantes casos no Anexo II, reflectem a rede viária de duas formas. Por um lado, o custo final da BFR é determinado pela distância percorrida e, por isso, quanto mais distante do ponto de consumo mais elevado será esse custo. Assim, há locais que, apesar de estarem mais próximos do ponto de consumo em linha recta, têm um custo total superior devido à estrutura da própria rede viária. Isso

é notório, por exemplo, para as centrais de Vila Moreira e Alcanede em que o acesso à área de estudo se faz pelas pontes de Santarém e da Chamusca, e entre as duas pontes o custo aumenta devido à barreira natural que representa o rio Tejo.

Por outro lado, constata-se que existem bolsas de custo mais elevado onde seria de esperar homogeneidade nas classes de custo. Este facto deve-se à fraca interligação dos caminhos florestais com a rede viária principal e, também, devido ao custo de transporte nesses caminhos ser superior em 25%. Estes dois factores conjugados levam a que em certas zonas, maioritariamente florestais, os custos sejam mais elevados.

As diferenças que existem entre os cenários Optimista e Conservador são originadas por uma alteração apenas ao nível de custo inicial, i.e., até ao transporte secundário. De um cenário para o outro, existe apenas uma redução ou aumento dos custos fixos. Trata-se de uma alteração que, embora pela análise das duas cartas possa não parecer, é linear. As fronteiras têm formas diferentes apenas porque as classes de custo não coincidem.

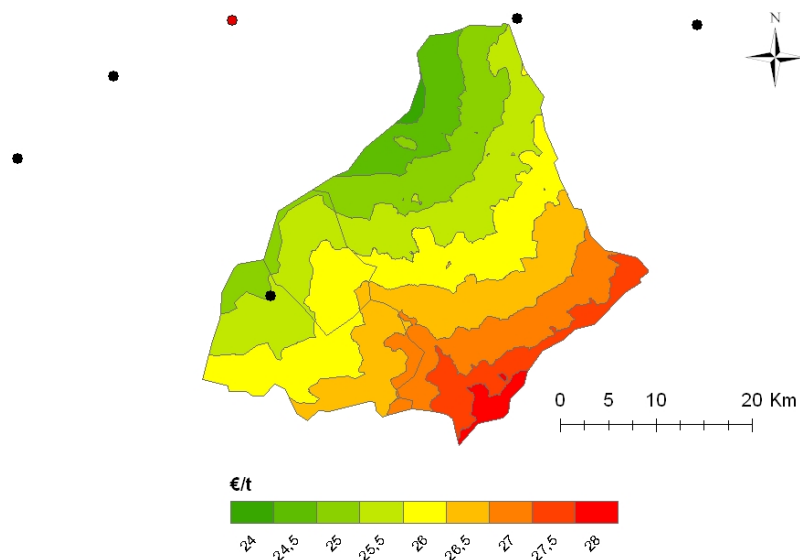


Figura 7.5 Carta das áreas de abastecimento de BFR em função da classe de custo para a central de Vila Moreira e para o cenário Conservador.

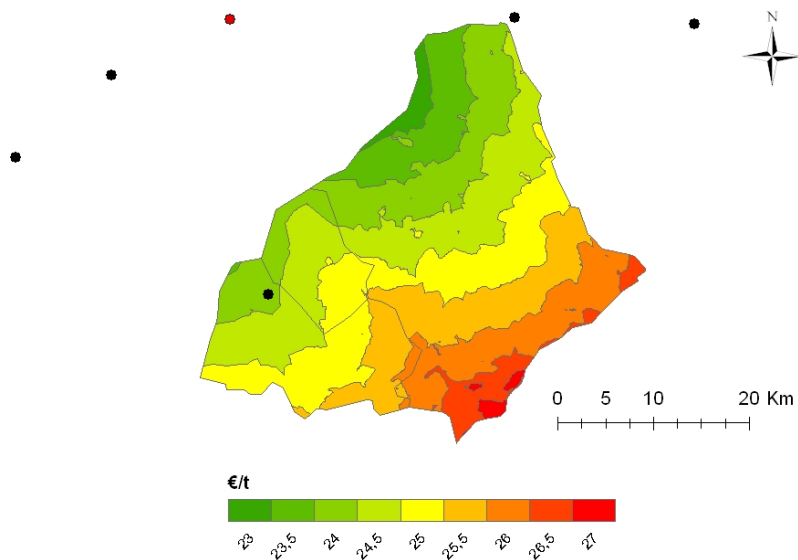


Figura 7.6 Carta das áreas de abastecimento de BFR em função da classe de custo para a central de Vila Moreira e para o cenário Conservador.

7.2.3. Construção das curvas de oferta anuais

Utilizando como pressuposto um preço de BFR de 3,26 €/GJ (Alakangas *et al*, 2007), foi possível estimar o custo da BFR, com 45% de humidade, ponderado pela representatividade das duas espécies na produção de BFR e tendo em consideração os respectivos poderes caloríficos (Quadro 7.7). O preço médio da BFR com 45% de humidade é de 25,40 €/t e corresponde ao WTP do consumidor.

Considerando que são as próprias centrais que consomem BFR a fixar o preço, as curvas de oferta anuais estão limitadas por esse valor. Com a limitação do preço da BFR em 25,4 €/t, a intersecção do preço com as curvas de oferta permite estimar o abastecimento real para cada central.

As curvas de oferta de BFR, apresentadas nas Figuras 7.7 e 7.8, mostram que a central de Almeirim e CAIMA são as que estão melhor posicionadas no mercado. Para estas centrais, o custo da BFR é sempre menor do que as restantes. São estas centrais que, num mercado concorrencial, têm primazia sobre a aquisição da BFR.

A diferença entre os dois cenários é estritamente linear: do cenário Conservador para o Optimista, as curvas de oferta mantêm a mesma disposição relativa. A variação que existe é unicamente no aumento linear do custo da BFR e na energia potencial da área de estudo, que é maior para o cenário Optimista.

Quadro 7.7 Poder calorífico inferior e preço da BFR em função da percentagem de humidade e assumindo um preço de 3,26 €/GJ (Alakangas, 2007; CBE, 2007b).

% Humidade	PCI (GJ/t)			Custo da BFR (€/t)		
	Eucalipto	Pinheiro	Média ponderada	Eucalipto	Pinheiro	Média ponderada
70	3,07	3,39	3,14	10,02	11,07	10,23
65	3,99	4,37	4,07	13,02	14,24	13,27
60	4,92	5,34	5,00	16,02	17,41	16,30
55	5,84	6,32	5,93	19,02	20,59	19,33
50	6,76	7,29	6,86	22,02	23,76	22,37
45	7,68	8,26	7,79	25,02	26,93	25,40
40	8,60	9,24	8,72	28,02	30,11	28,44
35	9,52	10,21	9,65	31,02	33,28	31,47
30	10,44	11,18	10,59	34,02	36,46	34,51
25	11,36	12,16	11,52	37,02	39,63	37,54
20	12,28	13,13	12,45	40,02	42,80	40,58
15	13,20	14,10	13,38	43,02	45,98	43,61
10	14,12	15,08	14,31	46,02	49,15	46,65
5	15,04	16,05	15,24	49,03	52,33	49,68
0	15,96	17,02	16,17	52,03	55,50	52,72

Depreende-se da análise da Figura 7.7 que no cenário Conservador existe uma variação considerável entre o abastecimento potencial e o abastecimento real em situação de mercado. Apenas para a central de Almeirim é que a produção total de BFR da área de estudo é praticamente a mesma nos dois casos. Para todos os outros locais, o abastecimento real é muito inferior ao abastecimento potencial. A situação no cenário Optimista é substancialmente diferente (Figura 8.8). As centrais da CAIMA e de Almeirim têm disponível toda a BFR potencial, enquanto que a central de Rio Maior continua com um abastecimento real baixo.

As curvas de oferta anual têm todas, à excepção da curva da central da CAIMA, o mesmo declive. Para a central da CAIMA o custo da BFR à porta da central aumenta mais rapidamente possivelmente por razões inerentes ao seu posicionamento geográfico.

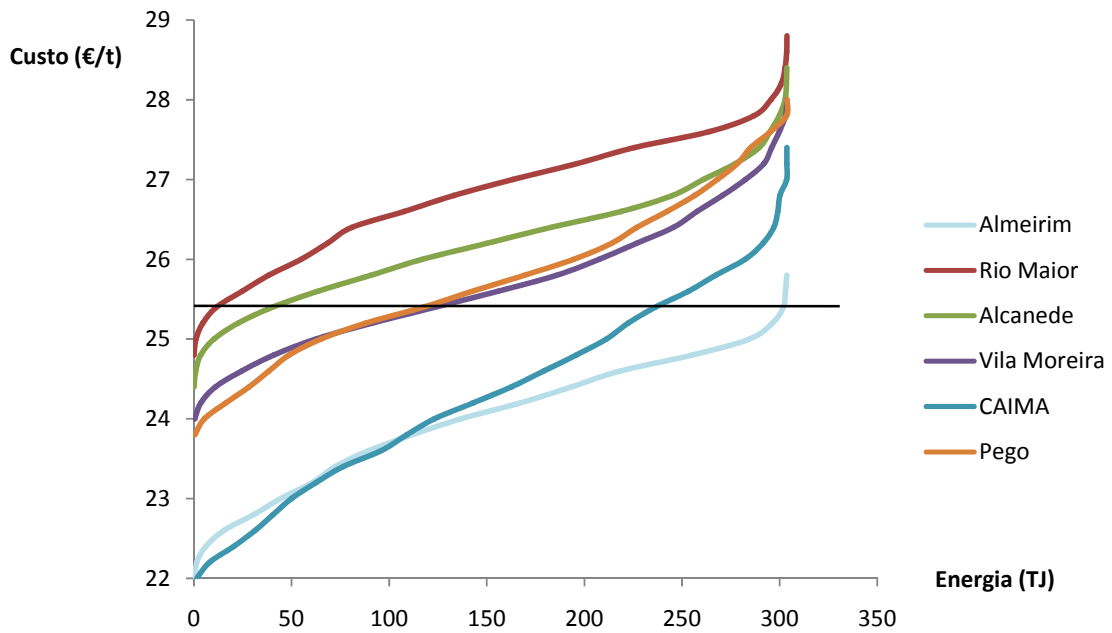


Figura 7.7 Curvas de oferta anual para as centrais em estudo para o cenário Conservador. A linha horizontal representa WTP do consumidor para BFR com 45% de humidade (25,4 €/t).

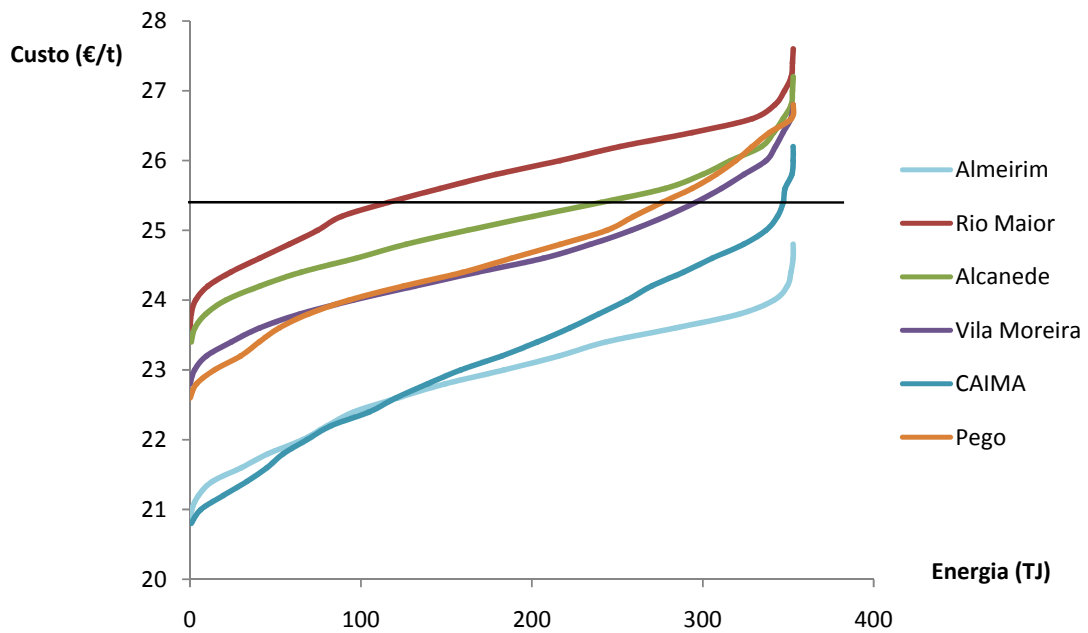


Figura 7.8 Curvas de oferta anual para as centrais em estudo para o cenário Optimista. A linha horizontal representa o WTP do consumidor para BFR com 45% de humidade (25,4 €/t).

7.2.4. 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%.

A informação do Quadro 7.8 e do Quadro 7.9 permite constatar com maior precisão as diferenças entre o abastecimento potencial e o abastecimento real, para os dois cenários. Recorde-se que a diferença entre o abastecimento potencial e real é que este último está limitado pelo WTP do consumidor e que se assumiu ser igual a 25,4 €/t. Em termos de energia potencial, esta é igual para o mesmo cenário, qualquer que seja a central. A diferença entre cenários deve-se aos diferentes coeficientes de produção anual utilizados (Quadro 7.4). Para as centrais de 6 MW_e, o contributo da área de estudo situa-se entre cerca de 44% e 51%, representando uma diferença de 7% entre cenários. Para as centrais da CAIMA e do Pego, devido à maior potência eléctrica, a mesma energia potencial contribui muito menos quando comparadas com as restantes centrais. Estima-se que a área de estudo represente potencialmente, no cenário Conservador, cerca de 21% e 11% das necessidades das centrais da CAIMA e do Pego, respectivamente; para o cenário Optimista, os contributos sobem para cerca de 24% (+ 3%) e 14% (+ 3%).

As diferenças existentes entre o abastecimento potencial e o abastecimento real reflectem a distância de cada central à área de estudo. A central de Almeirim é a única em que os abastecimentos potencial e real coincidem, para ambos os cenários. As centrais de Rio Maior, Alcanede e Pego são as três centrais para as quais mais claramente se constata que a área de estudo pouca importância terá a sua exploração.

Quadro 7.8 Abastecimentos potencial e real para as seis centrais em estudo para o cenário Conservador.

Central	Potência (MW _e)	Abastecimento potencial		Abastecimento real	
		TJ/ano	Contributo para a produção (%)	TJ/ano	Contributo para a produção (%)
Almeirim	6,0	303,7	44,4	301,9	44,1
Rio Maior	6,0	303,7	44,4	11,5	1,7
Alcanede	6,0	303,7	44,4	40,3	5,9
Vila Moreira	6,0	303,7	44,4	123,7	18,1
CAIMA	13,0	303,7	20,5	236,4	15,9
Central do Pego	31,4	303,7	11,3	117,5	4,5

Quadro 7.9 Abastecimentos potencial e real para as seis centrais em estudo para o cenário Optimista.

Central	Potência (MW _e)	Abastecimento potencial		Abastecimento real	
		TJ/ano	Contributo para a produção (%)	TJ/ano	Contributo para a produção (%)
Almeirim	6,0	352,9	51,6	352,9	51,6
Rio Maior	6,0	352,9	51,6	115,9	16,9
Alcanede	6,0	352,9	51,6	240,5	35,2
Vila Moreira	6,0	352,9	51,6	295,8	43,2
CAIMA	13,0	352,9	23,8	345,0	23,4
Central do Pego	31,4	352,9	13,6	276,2	10,6

7.2.5. Determinação dos raios de abastecimento

O custo da BFR em função da distância, apurado para a central de Almeirim e apresentado na Figura 7.9, permite constatar a diferença entre a distância real, ou percorrida, e a distância em linha recta. À medida que aumenta a distância, maior é a diferença do custo da BFR entre os dois, facto explicado não só pela configuração da rede viária mas também pelo pressuposto assumido de que os caminhos florestais têm um custo de transporte secundário superior em 25%. O índice de tortuosidade médio é 1,20 e 1,22 para os cenários Conservador e Optimista, respectivamente. A diferença, não sendo significativa, não tem nenhuma justificação para além de ser uma consequência da combinação específica da configuração da rede viária e das classes de custo a partir dos quais se estimaram as distâncias médias real e em linha recta.

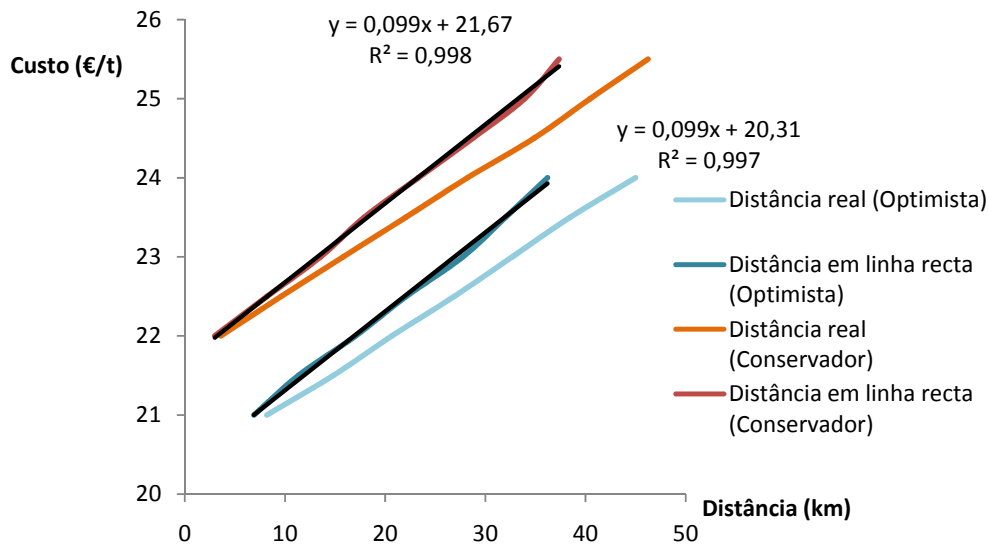


Figura 7.9 Custo total da BFR (€/t) em função da distância de transporte secundário (km) para ambos os cenários, com as respectivas equações para as funções de custo em função da distância em linha recta.

Utilizando as equações de custo em função da distância em linha e um preço de BFR igual a 25,4 €/t, foi possível estimar o raio de abastecimento máximo em cerca de 38 e 51 km, em linha recta, para os cenários Conservador e Optimista. Relembra-se que este cálculo apenas foi feito para a central de Almeirim porque era o único local que estava totalmente inserido na área de estudo e que tinha a rede viária completa. No entanto, os resultados podem ser aplicados para as restantes centrais, salvaguardando os pressupostos metodológicos assumidos, em particular o facto de estar a considerar que as centrais têm uma configuração da rede viária semelhante à da central de Almeirim.

As Figuras 7.10 e 7.11 permitem constatar qual o grau de concorrência entre as centrais, considerando áreas com os raios de abastecimento anteriores. No cenário Conservador, a área de sobreposição das três centrais que irão entrar em funcionamento é bastante reduzida e a zona sul da área de estudo não tem exploração de BFR. No entanto, é preciso realçar que as centrais da CAIMA e do Pego não vêm as necessidades anuais satisfeitas. No cenário Optimista, as áreas de abastecimento ultrapassam as necessidades de todas as centrais, mas também existem maior concorrência. Para ambos os cenários, a concorrência será sempre mais vincada para as duas centrais que estão mais próximas (CAIMA e Pego).

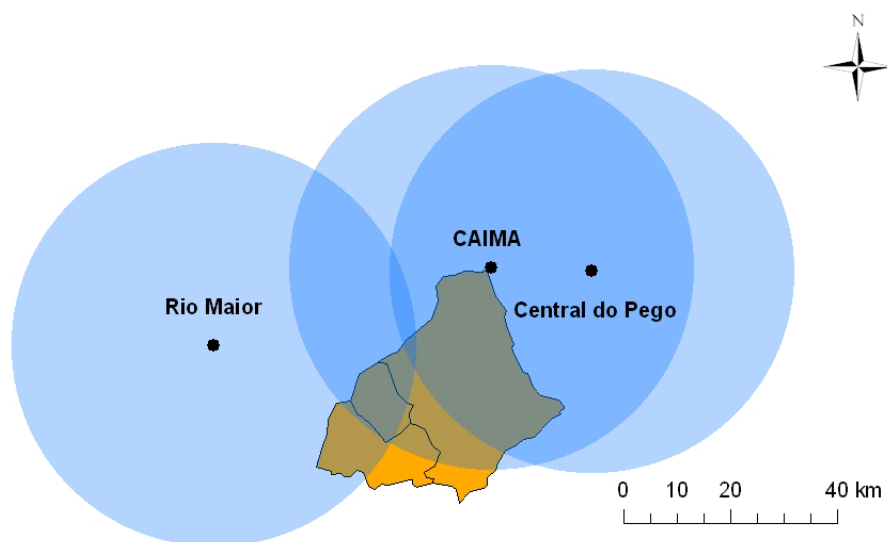


Figura 7.10 Áreas de abastecimento de BFR das centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, para o cenário Conservador.

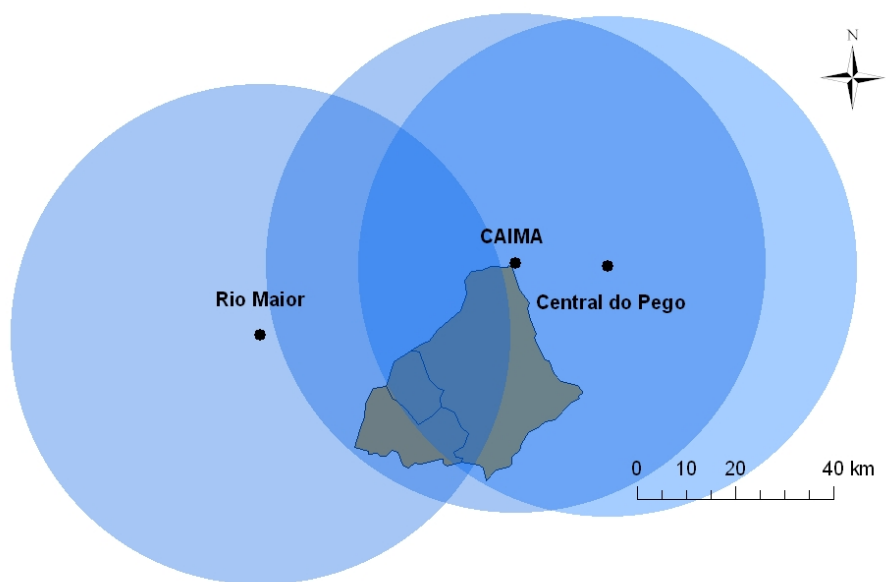


Figura 7.11 Áreas de abastecimento de BFR das centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, para o cenário Optimista.

7.2.6. Determinação do lucro médio da biomassa florestal residual para o produtor

As regressões lineares ajustadas permitem obter uma função de custo marginal da BFR cuja variável independente é a distância em linha recta à central. A central de Almeirim tem uma necessidade energética anual de 681,85 TJ, equivalente a cerca de 87 529 t/ano, assumindo 45% de humidade. Considerando um potencial energético da área de estudo de cerca de 304 TJ/ano e 353 TJ/ano para os

cenários Conservador e Optimista, as respectivas densidades energéticas são iguais a 0,29 TJ/km² e 0,33 TJ/km², respectivamente.

Através das equações 6.8-6.16, estimou-se o lucro médio da BFR em cerca de 1,92 €/t e 3,40 €/t, para os cenários Conservador e Optimista (Quadro 7.10). Estes valores correspondem a 0,25 €/GJ e 0,44 €/GJ, e estão dentro do intervalo encontrado na bibliografia (0,14-0,85 €/GJ (Bradley, 2007; VTT, 2007)).

Quadro 7.10 Lucro médio do produtor para cenários Conservador e Optimista para a central de Almeirim.

Cenário	Receita total (M€)	Custo total (M€)	Lucro total (M€)	Lucro médio (€/t)
Conservador	2,22	2,05	0,17	1,92
Optimista	2,22	1,93	0,30	3,40

7.2.7. Derivação de uma carta de acessibilidade à biomassa florestal residual

A carta de acessibilidade das centrais de Almeirim, CAIMA e Pego à BFR, apresentada na Figura 7.12 classifica o acesso à BFR nas classes boa, moderada e má. Como se pode constatar, a maior parte da área de estudo tem uma acessibilidade moderada. As zonas de mais fácil acesso à BFR situam-se a norte da área de estudo, enquanto que é a sul que a exploração é menos atractiva. Na eventual construção de uma nova unidade consumidora de BFR, a localização ideal em termos de facilidade de abastecimento seria na zona sul da área de estudo, pois é aí que mais dificilmente as centrais existentes irão competir pela BFR.

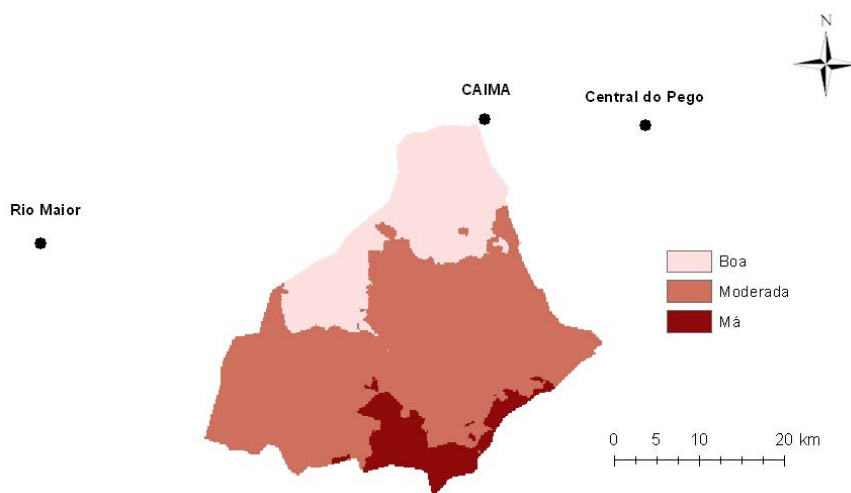


Figura 7.12 Carta de acessibilidade à BFR na área de estudo.

7.3. Análise da viabilidade económica da co-combustão na central do Pego

A análise da viabilidade económica da co-combustão de BFR na central do Pego permite verificar que o preço das licenças de emissão de CO₂ é um factor crucial na tomada de decisão. Para uma taxa de actualização de 10%, o preço de 12 €/tCO₂ torna o investimento inviável. No entanto, o investimento torna-se atractivo para preços a partir de 16 €/tCO₂. Para um valor de 24 €/tCO₂, o investimento pode ser recuperado em menos de dois anos.

Estes resultados vêm confirmar as conclusões obtidas no estudo de Pereira (2006). Comparativamente, existe uma grande diferença entre os preços da BFR considerados, sendo que nesse estudo pode chegar até a 45 €/t. Segundo o autor, apenas para esse preço da BFR, que está muito acima do valor actualmente praticado no mercado português, é que a co-combustão com BFR não seria economicamente viável.

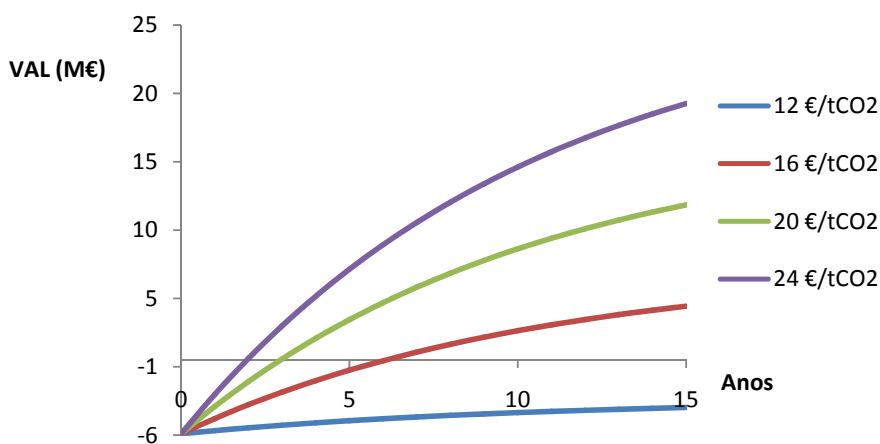


Figura 7.13 Valor actualizado líquido para um projecto de co-combustão de BFR na central do Pego para diferentes preços da licença de emissão de CO₂, assumindo um preço da BFR de 25,4 €/t.

A viabilidade económica da co-combustão é muito sensível a variações do preço da BFR. Como se pode constatar na Figura 7.14, a co-combustão com um preço de licenças de emissão de CO₂ de 20 €/tCO₂ é atractiva para preços de BFR entre 25 €/t e 27,5 €/t, mas deixa de ser viável para preços superiores a 30 €/t. Estes resultados revelam que os projectos de co-combustão são fortemente influenciados por pequenos aumentos do preço da BFR. Uma forma das centrais contornarem este problema é através do armazenamento para secagem da BFR, de modo a valorizar a quantidade comprada e aumentar a eficiência eléctrica da combustão.

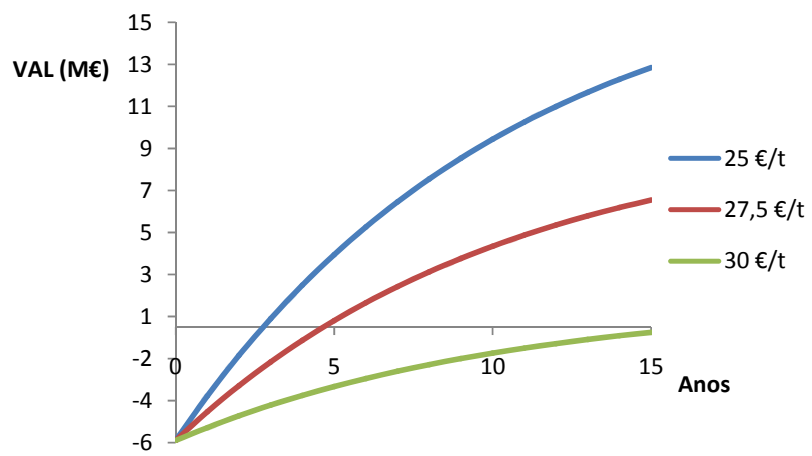


Figura 7.14 Valor actualizado líquido para um projecto de co-combustão de BFR na central do Pego para diferentes preços da BFR, assumindo um preço da licença de emissão de CO₂ de 20 €/tCO₂.

8. Limitações

Tendo em vista os objectivos propostos no início do trabalho, os resultados obtidos apresentam dois tipos de limitações: as limitações inerentes 1) à qualidade da informação utilizada e 2) aos pressupostos assumidos na metodologia. No que respeita à qualidade dos dados, as principais falhas podem advir da regressão linear utilizada para estimar a biomassa florestal residual (BFR) proveniente dos povoamentos de pinheiro e das cartas de ocupação florestal.

A equação de BFR que foi estimada baseia-se numa função exponencial e, como se constatou, os valores de BFR para DAP superiores a 15 cm são mais elevados do que os estimados com equações de BFR da bibliografia. Apesar de a equação explicar bem os dados recolhidos, o problema na sua utilização não está tanto na equação em si mas na utilização que se faz dela. De facto, para alguns modelos de silvicultura sugeridos, os DAP estimados na altura do corte final eram superiores ao maior DAP que tinha sido amostrado no campo (27,5 cm). Para esses modelos, a utilização da equação consistia numa extrapolação dos valores de BFR. Contudo, nenhum dos modelos com DAP superior a 27,5 cm foi seleccionado para estimar as quantidades totais de BFR na área de estudo, porque havia modelos com produções anuais máximas superiores.

A qualidade das cartas de ocupação florestal pode ter favorecido um maior distanciamento da produção de BFR real no concelho. Surge, em primeiro lugar, o problema de ter utilizado uma carta de ocupação florestal da Chamusca de 1998. Desde então passaram dez anos e a ocupação florestal poderá ser bastante diferente, especialmente tendo em conta que o concelho da Chamusca teve um grande incêndio em 2003 em que arderam cerca de 22 000 hectares (DGRF, s/d). Este facto, por si só, pode ter alterado significativamente a ocupação florestal, dado que a área ardida só nesse ano corresponde a quase 21% da área de estudo. Por outro lado, é preciso referir que os limites das cartas não coincidiam perfeitamente com os limites dos três concelhos das cartas militares. No entanto, apesar de introduzir um desvio em relação à rede viária e aos locais de consumo, esta diferença não ultrapassa os 900 metros e não é sempre na mesma direcção, equilibrando, por isso, os desvios. A melhoria da qualidade e a actualização da informação sobre a ocupação florestal permitirão aumentar significativamente a fiabilidade dos resultados.

Os pressupostos da metodologia seguida são os factores que mais desvio introduzem em relação aos valores reais de produção de BFR. O trabalho estimou a BFR proveniente de uma parte muito restrita da produção total real. De facto, para além da BFR proveniente de desbastes e cortes finais dos povoamentos de pinheiro e eucalipto, a área de estudo tem uma produção muito superior se se tomar em consideração a biomassa das restantes origens. É preciso ter presente que neste trabalho não foi considerada a biomassa que provém de áreas ardidadas, da remoção de ceptos, podas ou da actividade industrial. Os resultados obtidos neste trabalho podem estar subestimados, ainda, pelo facto de o diâmetro de corte da bicada poder ser superior a 7 cm ou à integração de árvores com a configuração do fuste inapropriada para a indústria na fracção de BFR.

Os dados sobre os custos das operações de rechega e trituração, baseados num único trabalho, podem não representar adequadamente os custos praticados pelas empresas a trabalhar na área de estudo e as próprias condições podem introduzir custos relativamente distintos. Neste aspecto, poderia ter sido feita uma recolha de informação sobre os custos entre as empresas locais.

Existem outros factores, de mercado, que afectam a produção total de BFR. As atitudes dos proprietários em relação ao mercado da biomassa pode variar muito, desde os que retiram toda a BFR dos seus povoamentos até aos que preferem não fazer a exploração. A área dos povoamentos, ainda que a sul do Tejo predomine o latifúndio, pode induzir os proprietários a não se ocuparem com uma receita muito marginal e irrelevante. O número de consumidores pode, por seu lado, influenciar a quantidade de BFR disponível. Numa situação de monopólio em que um consumidor estabelece um preço para a BFR, os custos totais de exploração podem não favorecer o aproveitamento em certos casos. No entanto, à medida que mais consumidores entram no mercado e tendem, por vezes, a instalarem-se em locais onde a exploração da BFR é mínima, haverá mais concorrência pela mesma matéria-prima, e o preço e a disponibilidade aumentarão. Por outro lado, é necessário ter em conta que há locais onde não deve haver exploração de BFR, como zonas de declives acentuados.

Um dos pressupostos que se assumiu considerava que as classes de distribuição de idades dos povoamentos estavam igualmente distribuídas pelo número de anos de exploração. Assim, a produção anual equivalia ao quociente entre a produção total de BFR e o número de anos de exploração dos povoamentos. Este pressuposto

ignora a variabilidade intra-anual que é natural existir na produção de biomassa. Aqui reside uma das maiores necessidades para melhorar este tipo de estudos. Para que os estudos de produção e disponibilidade de biomassa sejam mais precisos, torna-se necessário conduzir amostragens de campo ou integrar bases de dados das associações florestais para determinar a distribuição de idades dos povoamentos. Desse modo é possível estimar, com maior certeza, as produções anuais para períodos de cinco ou dez anos.

Em relação à co-combustão na central do Pego, é necessário referir que a eficiência assumida, 35%, varia consoante a humidade da BFR e, portanto, os custos totais anuais serão diferentes. Por outro lado, os dados apresentados só se aplicam para uma substituição com BFR de 5%. Caso seja feita uma substituição de 10% ou 15%, é preciso considerar que a área de abastecimento terá que ser maior e o preço da BFR pode aumentar, que há mais ganhos com a redução das emissões de CO₂, mas que os investimentos também são superiores. A deposição de cinzas não foi considerada e, dado que a co-combustão reduz a quantidade produzida, é um factor importante para a viabilidade do investimento.

9. Conclusões

O mercado da biomassa irá crescer enormemente nos próximos anos e espera-se que em 2010 haja uma potência instalada de 250 MW_e em centrais dedicadas a biomassa. Os concelhos de Almeirim, Alpiarça e Chamusca estão situados numa região que também, certamente, irá ver surgir uma transformação na actividade florestal. Neste trabalho, estimou-se que a área de estudo produz anualmente entre 30 601 a 35 585 toneladas secas por ano nos cenários Conservador e Optimista, respectivamente. O potencial bioenergético da área de estudo representa entre 12% e 14% do consumo total de electricidade dos três concelhos.

A produção de biomassa florestal residual (BFR) corresponde a um contributo potencial para as necessidades anuais de biomassa de 44-52%, 21-24% e 11-14% para as centrais de Rio Maior, CAIMA e Pego, respectivamente. Considerando um preço da BFR de 25,4€/t, o contributo da área de estudo desce para 2-17%, 16-23% e 5-11%, conforme os cenários. A informação sobre os custos das operações de exploração de biomassa permitiram estimar uma equação de custo marginal em função da distância. Os raios de abastecimento máximos, ao preço de mercado (25,4 €/t), situam-se entre 38 e 51 km. O lucro médio para o produtor foi estimado em 1,92 €/t e 3,40 €/t, para os dois cenários e assumindo a BFR com 45% de humidade.

A análise da viabilidade económica da co-combustão de biomassa na central do Pego permitiu concluir que se trata de um investimento atractivo para custos de emissão superiores a 16 €/tCO₂. Contudo, a viabilidade é mais sensível ao preço da BFR, sendo que os resultados obtidos permitem afirmar que a co-combustão deixa de ser viável para preços de BFR de 30 €/t (45% de humidade).

O aproveitamento da biomassa é uma oportunidade para dinamizar as economias rurais, criando emprego e fixando a população, tendo também um importante papel na redução das emissões de GEE. A promoção de centrais dedicadas é um apoio forte para conseguir estes benefícios. No entanto, as oportunidades que a biomassa pode oferecer não se limitam à produção de energia eléctrica. A promoção do aquecimento de edifícios com biomassa ou produtos derivados é 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 FER e de redução de GEE.

Referências

Os *links* indicados foram validados a 22 de Janeiro de 2008.

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://e-geo.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>

Alakangas, E., Valtanen, J., Levlin, J.E., 2006, *CEN technical specification for solid biofuels – Fuel specification and classes*, Biomass and Bioenergy 30, 908-914.

Alakangas, E., Keikkinen, A., Lensu, T., Vesterinen, P., 2007, *Biomass fuel trade in Europe – summary report*, VTT-R-03508-07, Eubionet II, Jyvaskyla, 57 pp.

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 Expobioenergia 2007*, 24-26 de Outubro, Valladolid.

Belkin, P., 2007, *The European Union's energy security challenges*, CRS Report for Congress, <<http://www.fas.org/sgp/crs/row/RL33636.pdf>>

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.

Bradley, D., 2007, *Canada – Sustainable forest biomass supply chains*, IEA Task 40, Climate Change Solutions, 31 pp, <<http://www.bioenergytrade.org/downloads/sustainableforestsupplychainsoct192007.pdf>>

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.

Caputo, A., Palumbo, M., Pelagagge, P., Scacchia, F., 2005, *Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables*, Biomass and Bioenergy 28, 35-51.

Carrasco, J. E., 2001, *La biomasa como recurso renovable para la producción de claro y electricidad*, in *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*, 2001, Pedro Ybarra (editor), 335-356.

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), 1997, *Energy for the future: renewable sources of energy – White Paper for a community strategy and action plan*, COM (97) 599 final, <http://ec.europa.eu/energy/library/599fi_en.pdf>

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2004, *Decisão da Comissão C(2004) 130*, Jornal Oficial da União Europeia L 51/1, 26 de Fevereiro, <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004D0156:PT:NOT> >

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>

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2005b, *The support of electricity from renewable energy sources*, COM (2005) 627, <http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_en.pdf>

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2006, *Renewable energy road map – Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future*, COM (2006) 848 final, <http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/03_renewable_energy_roadmap_en.pdf>

Comissão das Comunidades Europeias (CCE), 2007, *An energy policy for Europe*, COM (2007) 1 final, <http://ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/01_energy_policy_for_europe_en.pdf>

Comissão Europeia (CE), 2006, *Energy Technologies: Knowledge – Perception – Measures*, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems, <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/energy_tech_eurobarometer_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.

Decreto-Lei nº33-A/2005, de 16 de Fevereiro, que actualiza os valores de remuneração da electricidade produzida a partir de recursos renováveis, Diário da República nº33, I Série-A.

Department of Energy (DOE), 2008, *TWIP Crude oil*, Energy Information Administration, ficheiro XLS, <<http://tonto.eia.doe.gov/oog/info/twip/twipcrvwall.xls>>

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.fpdf.pt/pdfs_intro/Centrais_Biomassa.pdf>

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), 2006e, *Concurso para atribuição de capacidade de injeção de potência na rede do sistema eléctrico do serviço público e ponto de recepção associado para energia eléctrica produzida em central termoeléctrica a biomassa florestal no distrito de Santarém até 6 MVA*, Programa e condições do concurso, 60 pp.

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.min-agricultura.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 96/61/CE, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 257, 10 de Outubro de 1996.

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.

Directiva 2003/87/CE, de 13 de Outubro, relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissões de gases com efeito de estufa na Comunidade e

que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 275, 25 de Outubro de 2003.

Domac, J., Richards, K., 2002, *Final results from IEA Bioenergy Task 29: socio-economic aspects of bioenergy systems*, 12th European Conference on Biomass for Energy and Climate Protection, 4 pp, <http://www.iea-bioenergy-task29.hr/pdf/Domac_Richards_2002.pdf>

Dornburg, V., Faaij, A., 2001, *Efficiency and economy of wood-fired biomass energy systems in relation to scale regarding heat and power generation using combustion and gasification technologies*, Biomass and Bioenergy 21, 91-108.

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Vol. II, Intergovernmental Panel on Climate Change, Japão, <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.htm>>

Emilsson, S., 2006, *From extraction of forest fuels to ash recycling*, Swedish Forest Agency, RecAsh, 48 pp, <<http://www.cbss.st/basrec/documents/bioenergy/dbaFile12480.pdf>>

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>>

Ericsson, K., Nilsson, L.J., 2006, *Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach*, Biomass and Bioenergy 30, 1-15.

European Environment Agency (EEA), 2006, *EN 30 Renewable electricity*, <http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN30%2C2007.04/EN30_EU25_Renewable_electricity_2006.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 & Agrogos, 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.

Fiedler, F., 2004, *The state of the art of small-scale pellet-based heating systems and relevant regulation in Sweden, Austria and Germany*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 8, 201-221.

Gan, J., Smith, C.T., 2006, *Availability of logging residues for electricity production and carbon displacement in the USA*, Biomass and Bioenergy 30, 1011-1020.

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

Haberl, H., Erb, K.H., 2006, *Assessment of sustainable land use in producing biomass, in Renewables-based technology – sustainability assessment, 2006*, Dewulf, J., Van Langenhove (eds.), John Wiley & Sons, 175-192.

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_WoodEnergy_1999-20031.pdf>

Hall, P., 2002, *Sustainable production of woody biomass for energy*, IEA Bioenergy, 12 pp, <http://www.ieabioenergy.com/library/157_PositionPaper-SustainableProductionofWoodyBiomassforEnergy.pdf>

Henriques, J., 2007, Comunicação pessoal via e-mail, Pegop (Central do Pego), 11 de Dezembro.

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

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000, *IPCC Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories – Energy*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 95 pp, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/2_Energy.pdf>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, *Summary for policymakers, in Climate Change: the physical science basis*, Contribution of the Working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on

Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 18 pp, <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>

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/dbtw-wpd/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.

Kopetz, H., Jossart, J.M., Ragossnig, H., Metschina, C., 2007, *European biomass statistics 2007 – a statistical report on the contribution of biomass to the energy system in the EU 27*, Association Européenne pour la Biomasse (AEBIOM), 73 pp.

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>>

Mann, M., Spath, P., 2000, *A summary of life cycle assessment studies conducted on biomass, coal, and natural gas systems*, National Renewable Energy Laboratory, 8 pp, <<http://www.mtholyoke.edu/~baallen/Life%20Cycle%20Assessment.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.

Obernberger, I., Thek, G., 2004, *Basic information regarding decentralized CHP plants based on biomass combustion in selected IEA partner countries*, BIOS, 25 pp, <<file:///H:/TNO%20backup/projecten/35615%20IEA%20Task%2032/IEAwebsite/htdocs/publications.html>>

Oehme, I., 2006, *Development of ecological standards for biomass in the framework of green electricity labelling*, Clean-E Project, 78 pp,

<[http://www.eugenestandard.org/mdb/publi/7_CLEAN-E%20WP%202.2%20Report%20\(D4\)%20final2.pdf](http://www.eugenestandard.org/mdb/publi/7_CLEAN-E%20WP%202.2%20Report%20(D4)%20final2.pdf)>

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.

Portaria nº121/2005 de 31 de Janeiro, Diário da República – I Série – B nº 21.

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>>

Reijnders, L., 2006, *Conditions for the sustainability of biomass based fuel use*, Energy Policy 34, 863-876.

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>>

- Rummer, B., 2005b, *Forest residues transportation costing model*, ficheiro XLS, Forest Operation Research Unit, United States Forest Service, <<http://www.srs.fs.usda.gov/forestops/downloads/FoRTSv5.xls>>
- 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.
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), 2007, Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, INAG, <<http://snirh.inag.pt/>>
- 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.
- Soria, F., 2007, Comunicação pessoal por e-mail, Empresa Nacional de Celulosa España (ENCE), 25 de Setembro.
- Spinelli, R., Hartsough, B., 2001, *A survey of Italian chipping operations*, *Biomass and Bioenergy* 21, 433-444.
- Tejo Energia, 2007, *Índices de produção*, Tejo Energia (Central do Pego), <<http://www.tejoenergia.com/index.asp?art=52>>
- Tester, J., Drake, E., Driscoll, M., Golay, M., Peters, W., 2005, *Sustainable energy – choosing among options*, MIT Press, EUA, 846 pp.
- 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.
- Vagonyte, E., 2007, *European Union's impulse to bioenergy*, in *Comunicações da conferência Expobioenergía 2007*, 24-26 de Outubro, Valladolid
- Vares, V., Kask, U., Muiste, P., Pihu, T., Soosaar, S., 2005, *Manual for biofuel users*, Tallin University Technology, 178 pp, <<http://www.cbss.st/basrec/documents/bioenergy/dbaFile10431.pdf>>

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

Vesterinen, P., 2003, *Wood ash recycling state of the art in Finland and Sweden (Draft)*, VTT Processes, 50 pp, <<http://www.cti2000.it/solidi/WoodAshReport%20VTT.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 bioenergy 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>

Wihersaari, M., 2003, *Greenhouse gas emissions from final harvest fuel chip production in Finland*, Biomass and Bioenergy 28 (5), 435-443.

World Energy Council (WEC) & International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 1995, *Global energy perspectives to 2050 and beyond*, Londres.

Wright, C., 2007, Comunicação pessoal por e-mail, Pegop (Central do Pego), 20 de Junho.

Yoshioka, T., Aruga, K., Nitami, T., Kobayashi, H., Sakai, H., 2005, *Energy and carbon dioxide (CO₂) balance of logging residues as alternative energy resources: system analysis based on the method of a life cycle inventory (LCI) analysis*, Journal of Forest Research, 10 (2), 125-134.

Anexo I

Dados recolhidos na amostragem de campo

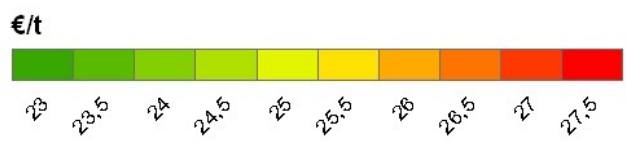
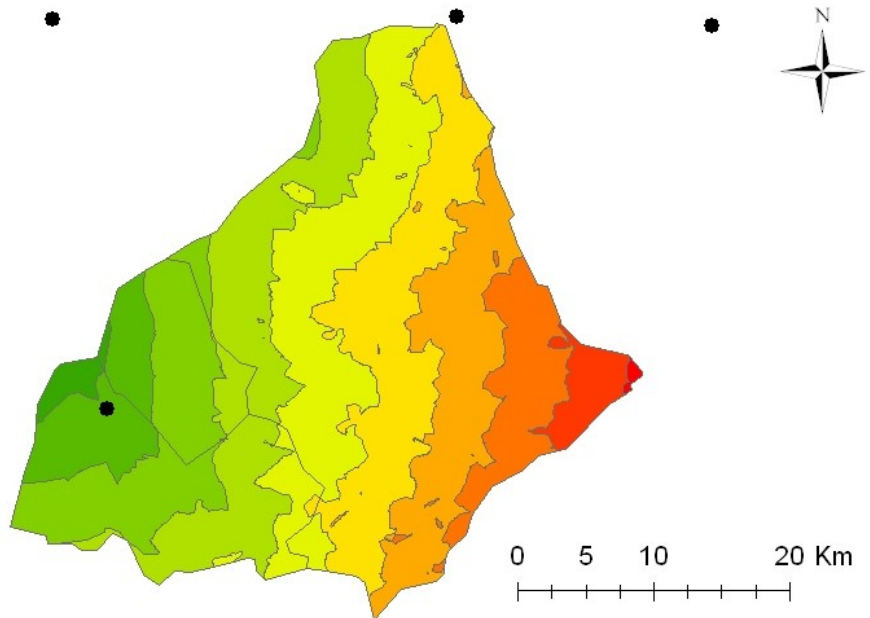
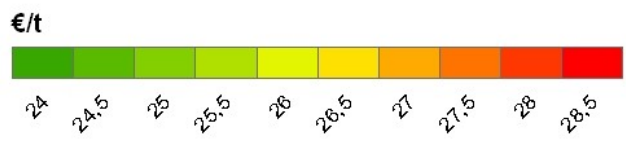
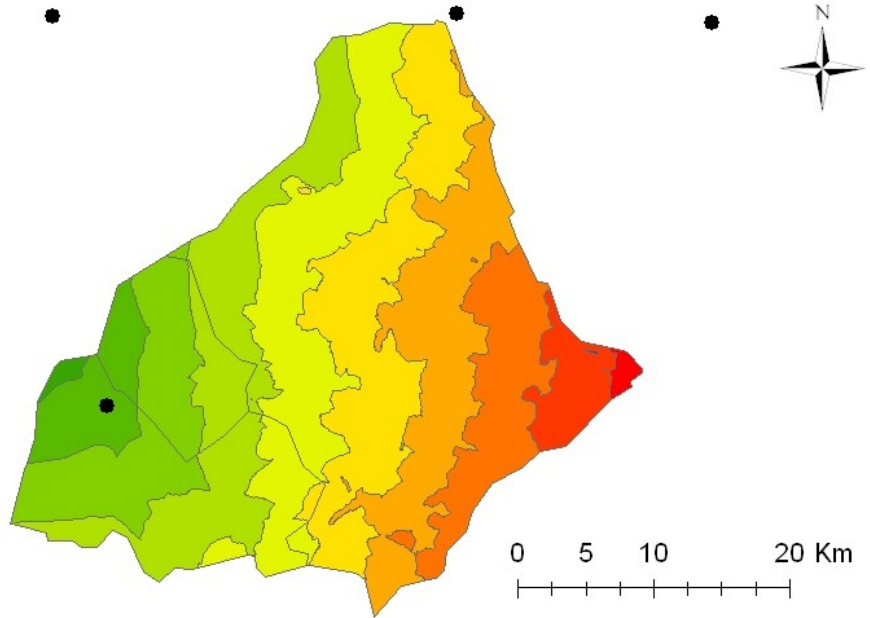
Espécie	Data	Amostra	DAP	Altura total	Altura até à bicada	Peso da rolaria (kg)	Peso da biomassa residual (kg)
Pb	24-Jul	1	9,5	9,70	3,95	26	24,5
Pb	24-Jul	2	16,1	11,20	8,25	103	45
Pm	24-Jul	3	16,2	8,40	3,95	61	95
Pb	24-Jul	4	22	14,00	11,10	233	111
Pb	24-Jul	5	22,4	14,15	11,83	255	61
Pb	24-Jul	6	10	8,90	4,05	27	20
Pb	24-Jul	7	7	7,70			
Pb	24-Jul	8	15,5	10,20	6,70	70	45
Pb	25-Jul	10	23	13,20	10,70	207	60
Pb	25-Jul	11	10	9,20	4,30	51,5	41
Pb	25-Jul	12	11,5	8,10	3,90	29,5	27
Pb	25-Jul	13	13,2	8,30	4,90	44	29
Pb	25-Jul	14	18	12,70	10,50	37	64
Pb	25-Jul	15	13,5	9,90	6,25	58	44
Pb	25-Jul	16	18	10,30	7,75	108	64
Pb	25-Jul	17	20	14,95	11,00	176,5	68
Pb	25-Jul	18	9,5	6,75	1,80	8,5	15,5
Pb	25-Jul	19	10	7,30	2,50	13	22,5
Pb	25-Jul	20	21,2	14,25	11,25	237	95
Pb	25-Jul	21	16,5	11,65	8,15	106	54
Pb	26-Jul	22	18,2	12,80	9,40	169	124
Pb	26-Jul	23	19	11,40	8,20	144	80
Pb	26-Jul	24	13	8,90	5,00	43	28
Pb	26-Jul	25	17,5	11,25	8,30	118	63,5
Pb	26-Jul	26	9	8,35	3,25	17,5	18
Pb	26-Jul	27	9,5	7,70	3,60	6	24
Pb	26-Jul	28	26,5	13,05	10,20	275	115
Pb	26-Jul	29	12,5	10,95	7,35	70	37,5
Pb	26-Jul	30	14,5	11,30	7,45	81	47,5
Pb	26-Jul	31	9	7,85	4,25	20	18
Pb	26-Jul	32	13,2	10,10	6,35	67	51
Pb	26-Jul	33	18	13,10	9,30	149	76,5
Pb	26-Jul	34	25	13,30	10,30	260	126
Pb	01-Ago	35	22,5	16,90	14,40	304	77
Pb	01-Ago	36	23,5	14,80	12,25	258	78
Pb	01-Ago	37	24,2	14,10	11,70	286	132
Pb	01-Ago	38	26,2	15,90	13,10	379	238
Pb	01-Ago	39	26,7	18,80	16,95	448	146
Pb	01-Ago	40	27,5	17,50	14,90	499	247

A humidade média das amostras foi estimada em 55,73% (base húmida).

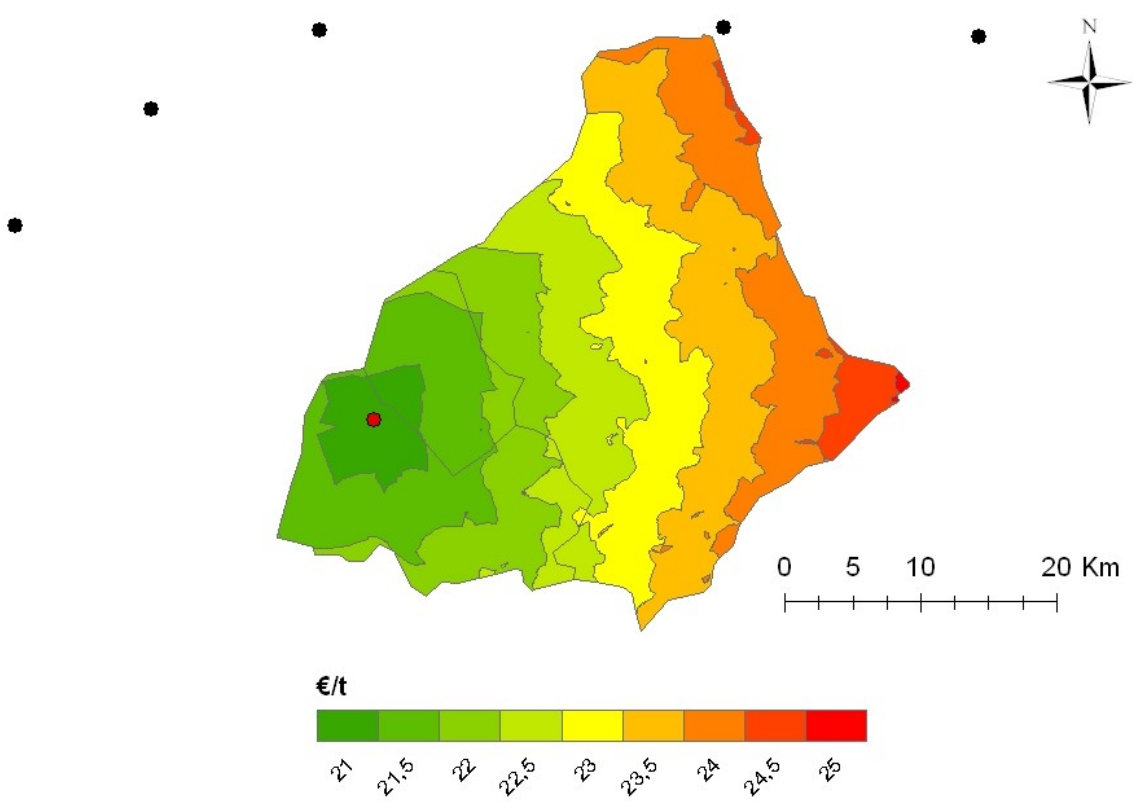
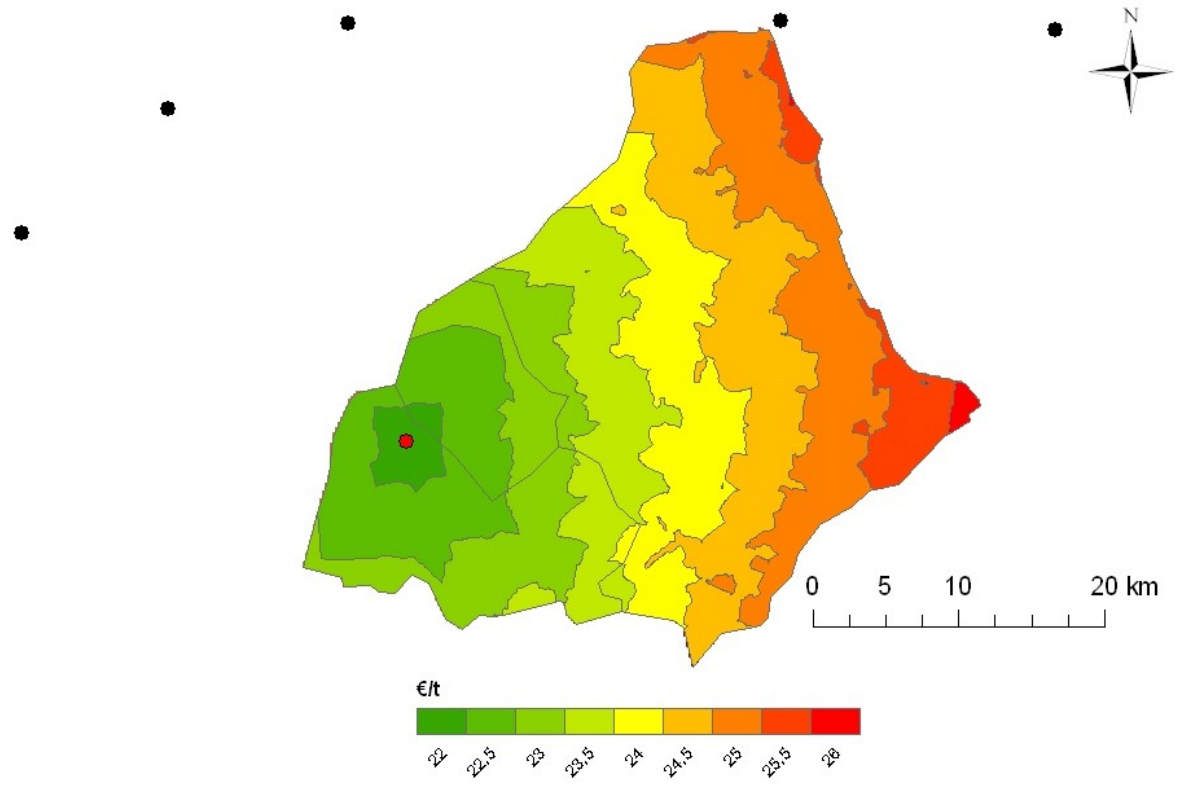
Anexo II

Áreas de abastecimento dos locais de consumo estudados para os cenários Conservador e Optimista

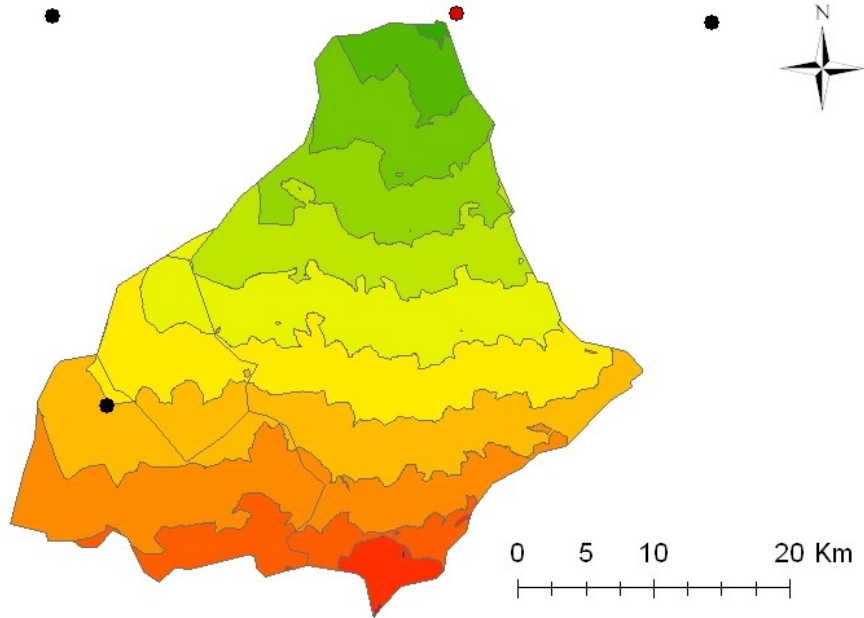
Alcanede



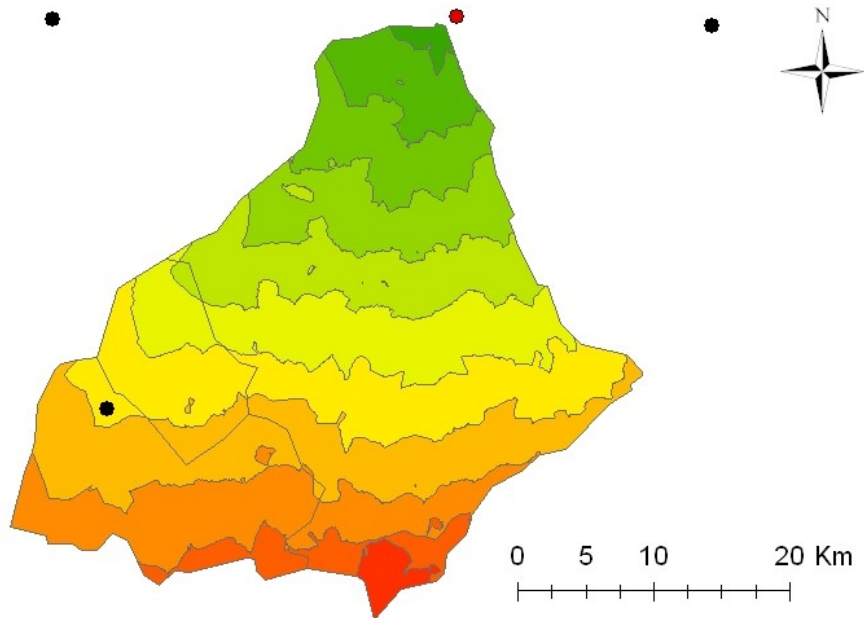
Almeirim



CAIMA



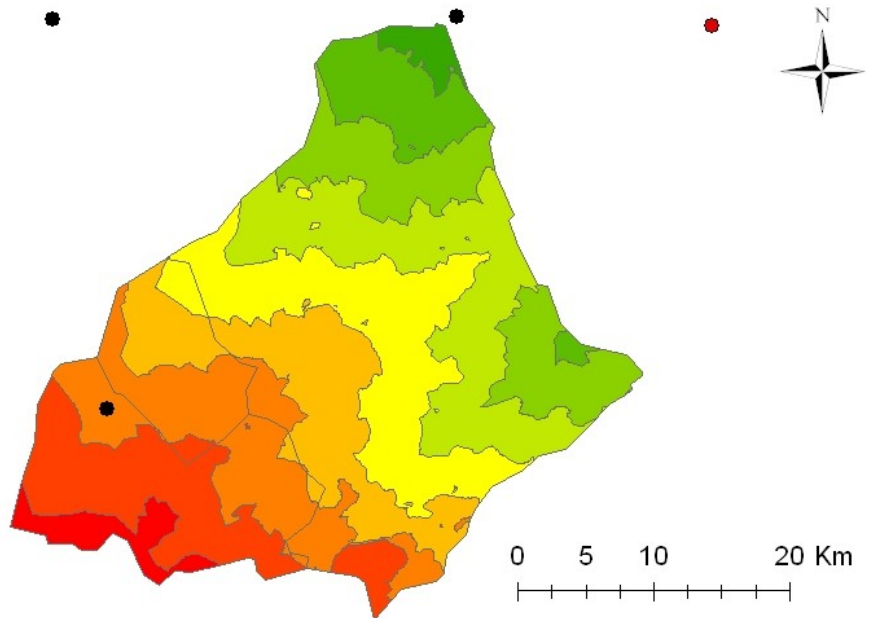
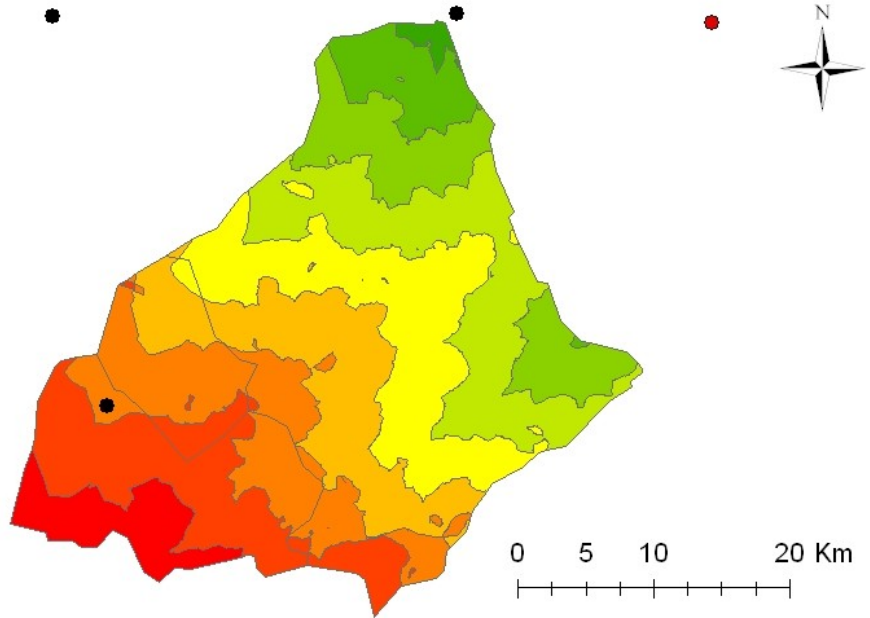
€/t



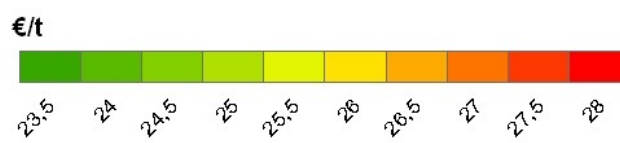
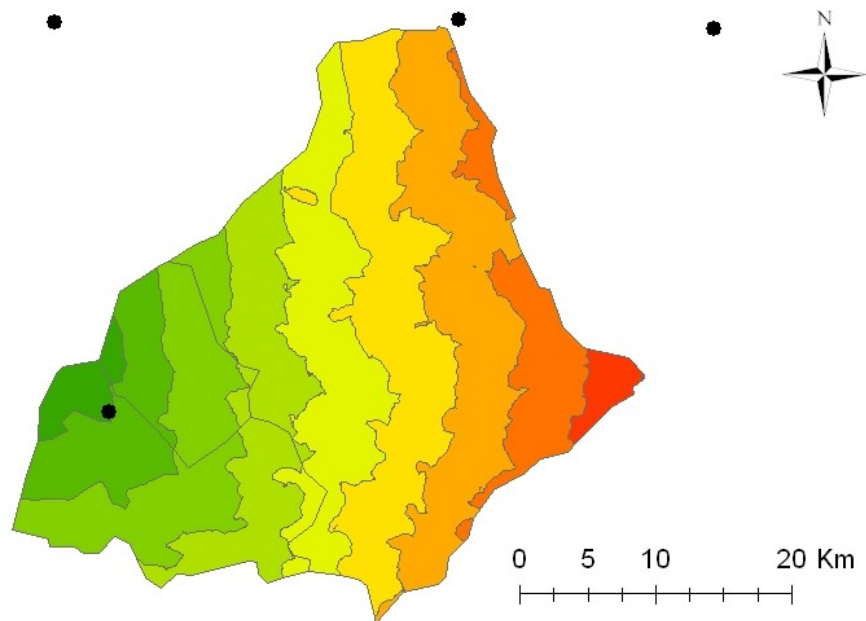
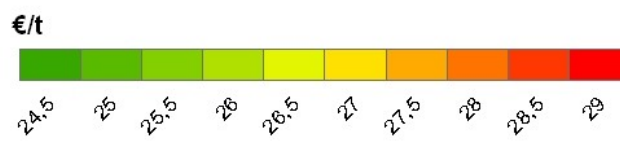
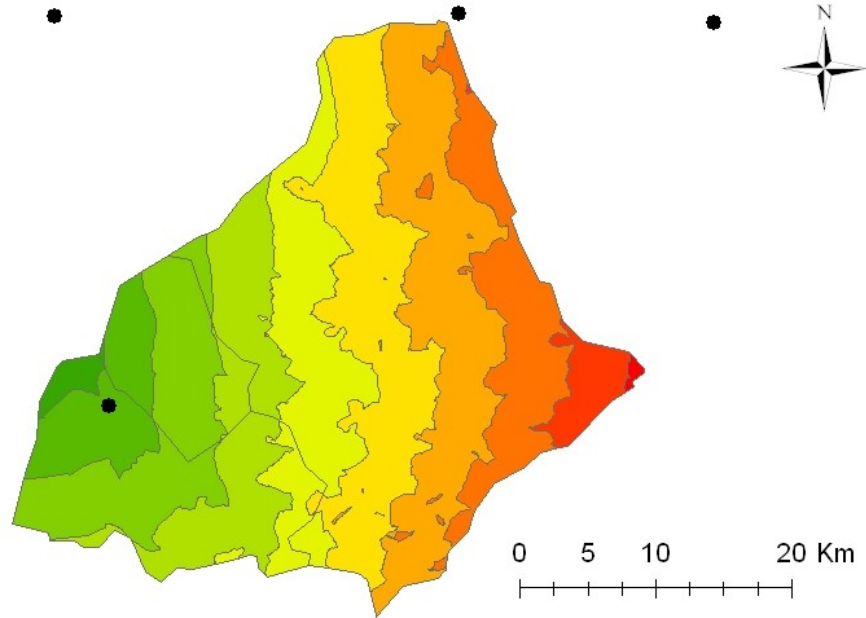
€/t



Central do Pego



Rio Maior



Vila Moreira

