



**Universidade de  
Aveiro**  
Ano 2015

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Susana Margarida  
Caetano Santos**

**Recolha e Transporte de Resíduos Florestais:  
Controlo da Humidade**





**Universidade de  
Aveiro**  
Ano 2015

Departamento de Ambiente e Ordenamento

**Susana Margarida  
Caetano Santos**

**Recolha e Transporte de Resíduos Florestais:  
Controlo da Humidade**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro



## **O júri**

Presidente

**Professora Doutora Maria de Fátima Lopes Alves**

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor José de Jesus Figueiredo da Silva (Orientador)**

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos (Arguente)**

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro



## **Agradecimentos**

Na conclusão deste trabalho, quero agradecer ao Professor Doutor José Figueiredo pela ajuda prestada, tanto no desenvolvimento das várias facetas do trabalho de campo, como na análise e compreensão dos dados e resultados obtidos. Obrigada por todo o apoio dado e pela partilha de conhecimentos e ensinamentos.

Agradeço à Central Termoelétrica a Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A., na pessoa do Eng. Miguel Figueiredo, por possibilitar a colaboração estabelecida e pelos dados disponibilizados.

A todos os meus colegas e amigos que me acompanharam e apoiaram ao longo desta jornada, e em especial ao Bruno, à Inês, ao Eduardo, à Rita, quero deixar o meu profundo reconhecimento e agradecimento por toda a paciência, ajuda e incentivo, pelas horas intermináveis de trabalho e companheirismo, e por todos os momentos vividos juntos. O meu muito obrigada.

Não posso deixar de agradecer igualmente à Doutora Vânia e à Professora Cristina pelo apoio que sempre me deram. Obrigada pelas muitas conversas, pelos conselhos, pelas gargalhadas e lágrimas. O vosso acompanhamento nesta caminhada fez toda a diferença.

Por último, mas sempre em primeiro, quero agradecer à minha família, aos meus pais e à minha irmã. Sem vocês este percurso não teria sido possível. Muito obrigada pela força, pela compreensão, pela ajuda, pela paciência, pela motivação, por todos os momentos que me trouxeram aqui, bons ou maus, mas em que vocês estiveram sempre presentes. Não podia deixar de vos prestar um agradecimento muito especial.



## Palavras-chave

Biomassa florestal, central termoelétrica, *Eucalyptus globulus*, humidade, densidade, transporte final

## Resumo

A biomassa florestal é cada vez mais considerada um recurso valioso que deve ser valorizado energeticamente, contribuindo para a diminuição da dependência externa. Assim, torna-se importante conhecê-la, caracterizá-la, e reconhecer as principais variáveis de que depende, para retirar o rendimento máximo da sua valorização. Entre estas variáveis encontra-se a humidade, que estando muito associada à densidade, assume um papel de especial relevância, pois condiciona o valor pago pelas centrais termoelétricas, na medida em que a energia produzida é inversamente proporcional à humidade do material. Desta forma, este estudo pretende fazer um levantamento da situação atual da floresta nacional, em particular dos resíduos resultantes das operações de exploração florestal, tais como o abate, e cujos resíduos são designados por Biomassa Florestal Residual (BFR), caracterizando igualmente a cadeia logística e de abastecimento associada. Em Portugal, o *Eucalyptus globulus* assume uma grande expressão devido à indústria da celulose, sendo atualmente a principal espécie arbórea em exploração. Por este motivo, será sobre esta espécie que vai incidir o estudo

Assim, no presente trabalho, foram definidos dois estudos de caso, localizados no distrito de Aveiro, sendo um relativo ao acompanhamento do processo de abate e secagem em campo da biomassa florestal residual, e o outro resultante do desenvolvimento de uma colaboração com uma central termoelétrica. Para o primeiro caso, foi acompanhada e monitorizada a secagem da BFR resultante do abate numa parcela de 2000m<sup>2</sup>, assim como a BFR resultante do abate de um único exemplar de *E. globulus*, procedendo-se a uma amostragem regular para acompanhamento da variação da humidade. Foi ainda estimada a densidade comprimida e não comprimida destes resíduos. Como complemento deste estudo, foi monitorizado o processo de abate que decorreu na área em estudo durante os meses de abril a julho de 2014. O segundo estudo de caso pretendia analisar as condições da BFR à chegada à Central Termoelétrica a Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A., dando especial atenção às questões da humidade e da densidade, e a forma como estas se relacionavam com as variáveis a avaliar. Para tal, foram analisados, para o ano de 2013, os valores médios mensais, os principais locais de origem da biomassa, e os principais fornecedores, focando em particular o material recebido sob a categoria de Biomassa de Exploração Florestal (BEF – espécie 26).

**Keywords**

Forest biomass, *Eucalyptus globulus*, moisture content, density, final transportation

**Abstract**

Forest biomass is becoming a valuable resource that must be energetically prized, aiding to diminish foreign energetic dependency. Therefore, it is essential to know it, characterize it and recognize the most important variables from which it depends, in order to maximize its value. Among such variables is moisture, deeply associated with density, which is of foremost importance. Moisture content influences the amount paid by thermo electric powerplants, insomuch as the energy produced is inversely proportional to moisture percentage in wood. Thus, this work aims at describing the national forest present situation, with particular emphasis on the residue produced by forest exploration operations such as felling. Residue produced by felling is known as Residual Forest Biomass (RFB). This work also aims at describing the logistic and supply chains associated with these operations. In Portugal, *Eucalyptus globulus* is very important, due to the cellulose industry, being, at the moment, the main arboreal specie explored.

In this work, two case studies were established, both located in Aveiro's district. One of these concerned the following of Residual Forest Biomass felling and field drying operations and the other one, the cooperation with a thermo electric powerplant. In the first case study, the drying RFB of a 2000m<sup>2</sup> parcel was followed and monitored, as well as the RFB resulting of the felling of a single *E. globulus*. Moisture variation was registered with regular sampling and compressed and uncompressed density was assessed. It was also monitored the felling operation taking place in the field study area from April to June 2014. The second case study aimed at analysing the RFB conditions upon its arrival to the thermo electrical powerplant of Terras de Santa Maria, S.A., with particular emphasis in moisture and density and how these influenced the studied variables. To do so, 2013 average monthly values, the main sites from where the biomass originated and the central suppliers were analysed, with special attention to the category known as Biomass from Forest Exploration (BFE – specie 26).

# Índice

1. Introdução .....	7
1.1. Enquadramento Geral .....	7
1.2. Objetivos e Estrutura da Dissertação .....	8
2. A Floresta em Portugal .....	9
2.1. Enquadramento Legal .....	9
2.2. Caracterização da Floresta Portuguesa .....	11
2.3. O Caso Particular do <i>Eucalyptus globulus</i> .....	13
2.3.1. Produção de Eucalipto em Portugal .....	14
3. Problemática dos Resíduos de Exploração Florestal .....	17
3.1. Origem e suas Características .....	17
3.1.1. Operações de Manutenção Florestal .....	17
3.1.2. Operações de Abate .....	19
3.1.3. A Biomassa Florestal Residual .....	21
3.1.4. Existência vs Disponibilidade da BFR .....	22
3.2. Dendrometria e Relações Alométricas .....	23
3.2.1. Dendrometria .....	23
3.2.2. Relações Alométricas para <i>Eucalyptus globulus</i> .....	26
3.3. Importância do Teor de Humidade .....	27
3.3.1. Técnicas para Medição da Humidade .....	28
3.4. A Densidade da BFR .....	29
3.5. Conteúdo em Energia e Valorização .....	29
3.5.1. Formas de Valorização da BFR .....	29
3.6. Logística e Cadeia de Fornecimento .....	30
3.6.1. Cadeia de Fornecimento .....	30
3.6.2. Logística de Transporte em Portugal .....	32
3.6.3. Outros Sistemas Logísticos de Transporte .....	33
4. Metodologia .....	35
4.1. Apresentação dos Estudos de Caso .....	35
4.1.1. Estudo de Caso 1 – Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR .....	35

4.1.2. Estudo de Caso 2 – Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica.....	36
4.2. EC1 – Metodologia Aplicada no Estudo do Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR .....	37
4.2.1. Caracterização Física da Pilha de Biomassa Construída pelo Madeireiro.....	37
4.2.2. Caracterização Física da Biomassa Resultante do Abate de um Eucalipto .....	38
4.2.3. Métodos para a Determinação da Humidade da BFR.....	38
4.2.4. Acompanhamento do Processo de Secagem ao Ar ao Longo do Tempo .....	41
4.2.5. Determinação da Densidade da BFR na Pilha .....	43
4.2.6. Acompanhamento do Processo de Abate de Eucaliptos na Área em Estudo.....	45
4.3. EC2 – Metodologia de Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica.....	46
4.3.1. Valores Globais Médios de Biomassa Recebida para o Ano de 2013 .....	46
4.3.2. Distâncias entre Locais de Origem da Biomassa e a Central para o Ano de 2013 .....	46
4.3.3. Análise dos Principais Locais Abastecedores de Biomassa para a Categoria BEF – Espécie 26 .....	47
5. Resultados .....	48
5.1. EC1 – Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR .....	48
5.1.1. Caracterização Física da Pilha de Biomassa Construída pelo Madeireiro.....	48
5.1.2. Caracterização Física da Biomassa Resultante do Abate de um Eucalipto .....	49
5.1.3. Análise dos Processos de Secagem .....	51
5.1.4. Determinação da Densidade da BFR da Pilha .....	61
5.1.5. Acompanhamento do Processo de Abate de Eucaliptos na área em estudo .....	64
5.2. EC2 – Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica .....	68
5.2.1. Valores Globais Médios de Biomassa Recebida para o Ano de 2013 .....	68
5.2.2. Análise dos Locais de Origem da Biomassa para o Ano de 2013 .....	70
5.2.3. Características das Cargas Recebidas da Categoria BEF – espécie 26 para Locais Selecionados .....	77
5.2.4. Análise Global por Fornecedor.....	80
6. Discussão e Conclusões .....	82
7. Bibliografia.....	89

## Índice de Figuras

Figura 1 - Distribuição dos usos do solo em Portugal continental para o ano de 2010. Fonte: (ICNF, 2013a) .....	12
Figura 2 - Evolução das áreas de floresta, por Região NUT de nível II. Fonte: (ICNF, 2013a) .....	13
Figura 3 - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies. Fonte: (ICNF, 2013a) .....	13
Figura 4 - Fluxo de BFR resultante de operações de abate e manutenção florestal. ....	17
Figura 5 - Composição da biomassa florestal residual resultante de abate. ....	21
Figura 6 - Representação esquemática das principais variáveis dendrométricas ao nível da árvore. ....	26
Figura 7 – Esquema típico de uma cadeia de fornecimento de biomassa. Adaptado de Sharma et al., (2013). ....	31
Figura 8 - Localização da área de estudo. ....	35
Figura 9 - Caixa utilizada no ensaio de compressão.....	44
Figura 10 - Valores diários de precipitação e temperatura média durante o período de amostragem. ....	48
Figura 11 - Fotografia da pilha construída pelo madeireiro e da sub-pilha utilizada para determinação da densidade da biomassa.....	49
Figura 12 - Pormenor do eucalipto após abate. a) Lenho. b) Ramos e bicadas.....	49
Figura 13 - a) e b) Contribuições das várias fases de secagem para a humidade total, para os tratamentos I e T, em base seca. ....	53
Figura 14 - Humidade total (em base seca) determinada para os diferentes tratamentos e influência da precipitação no período de amostragem. ....	53
Figura 15 - Humidade perdida ao fim de duas semanas de secagem ao ar no laboratório para os tratamentos I e T, referida à base seca. ....	54
Figura 16 - Dados de Humidade Total lidos pelo sensor e determinados no tratamento TD, em base tal e qual. ....	55
Figura 17 - Avaliação das leituras de humidade do sensor face à humidade total determinada, em base tal e qual. ....	55
Figura 18 - Contribuições das várias fases de secagem para a humidade total, relativas à base seca. ....	57
Figura 19 - Influência da precipitação no período de amostragem. ....	57
Figura 20 - Representação gráfica dos dados das duas primeiras semanas de secagem, ajustamento e equação de regressão aplicada, e modelo de ajustamento desenvolvido.....	59
Figura 21 – Representação gráfica das curvas de secagem determinadas para os vários processos de secagem ao ar acompanhados, com aplicação do modelo desenvolvido para os meses iniciais, relativamente à base seca.....	60
Figura 22 - Variações da densidade em função da pressão exercida na superfície e na base.....	62
Figura 23 - Vários estágios do ensaio de compressão. a) Após a primeira carga de BFR. b) Aumento da força aplicada à superfície da caixa c) Pilha de biomassa após a última compressão.....	63
Figura 24 - Representação gráfica das áreas das parcelas em função do tipo de recolha de biomassa efetuada, de acordo com o código de cores estabelecido. ....	65

Figura 25 - Representação georreferenciada das parcelas abatidas, com aplicação do código de cores identificativo do tipo de recolha. Fonte: Google Earth. ....	65
Figura 26 -Exemplos do tipo de recolha de biomassa efetuada. a) Parcela sem recolha (AB4). b) Parcela com recolha parcial (AB14). c) Parcela com recolha total (AM3). ....	67
Figura 27 - Exemplo de uma pilha de BFR construída junto ao caminho florestal para a qual não é possível identificar a(s) parcela(s) de origem.....	67
Figura 28 - Quantidades mensais de biomassa recebidas na central, para todas as categorias, durante o ano de 2013.....	69
Figura 29 - Variações médias mensais de densidade para a totalidade da biomassa recebida na central, para todas as categorias, durante o ano de 2013.....	69
Figura 30 - Distribuição das cargas recebidas de BEF 26 em 2013 por local de origem e distância percorrida no seu transporte. a) para a globalidade dos dados. b) para locais com peso líquido até 1000 toneladas.....	71
Figura 31 - Distribuição percentual dos locais abastecedores de BEF 26, classificados por peso líquido, em toneladas.....	72
Figura 32 - Distribuição percentual de locais abastecedores de BEF 26 por classes de distância (em quilómetros), para uma viagem entre o local e a central. ....	73
Figura 33 - Distribuição geográfica da central e dos locais de origem da biomassa para as categorias BEF - espécie 26 e Bicadas Bruto, no ano de 2013. Fonte: Google Earth.....	74
Figura 34 - Distribuição percentual dos locais de origem de Bicadas Bruto, classificados por peso líquido, em toneladas.....	75
Figura 35 - Distribuição percentual dos locais de origem de Bicadas Bruto por classes de distância (em quilómetros), para uma viagem entre o local e a central.....	75
Figura 36 - Distribuição das cargas recebidas de Bicadas Bruto em 2013 por local de origem e distância total percorrida no seu transporte. ....	76
Figura 37 - Representação gráfica dos dados amostrais (bs) com aplicação do modelo de ajuste desenvolvido. ....	79
Figura 38 - Relação entre a densidade e a humidade da BEF 26, relativamente à base seca. ....	79
Figura 39 - Cargas totais rececionadas na central e oriundas dos principais fornecedores. ....	80
Figura 40 – Distribuição do total das cargas recebidas pelos diferentes fornecedores em função da sua humidade. ....	81

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Principais variáveis dendrométricas ao nível do povoamento. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007b).....	24
Tabela 2 - Principais variáveis dendrométricas ao nível da árvore. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007b).....	25
Tabela 3 - Equações para a estimativa da biomassa total (w) e por componentes (ww, wb, wl, wbr) em eucalipto (com d e h) quando a profundidade da copa não está disponível. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007a).....	27
Tabela 4 - Valores típicos de teores de humidade.....	28
Tabela 5 - Tipologias de estrutura de uma cadeia de fornecimento. Adaptado de (Sharma et al., 2013) .....	31
Tabela 6 - Descrição das categorias de identificação da biomassa recebida na central termoelétrica.....	36
Tabela 7 - Dimensões típicas de um semirreboque e da caixa usada no ensaio de compressão....	44
Tabela 8 - Grandezas medidas para o eucalipto abatido.....	50
Tabela 9 - Variáveis dendrométricas determinadas para o eucalipto abatido.....	50
Tabela 10 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento I.....	51
Tabela 11 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento T.....	52
Tabela 12 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento TD.....	52
Tabela 13 - Dados relativos à secagem da biomassa da pilha construída pelo madeireiro, referidos à base seca.....	56
Tabela 14 - Média e Desvio Padrão da Humidade Equilíbrio na Pilha (base seca).....	57
Tabela 15 - Constantes determinadas para o modelo proposto.....	58
Tabela 16 - Grandezas medidas para a sub-pilha e valor de densidade média estimado.....	61
Tabela 17 - Dados relativos ao ensaio de compressão de biomassa de eucalipto.....	63
Tabela 18 - Código de cores aplicado na identificação do tipo de recolha observada nas parcelas abatidas.....	64
Tabela 19 - Peso líquido, humidade e densidade médios para a totalidade da biomassa recebida na central sob todas as categorias, no ano de 2013.....	68
Tabela 20 – Síntese da análise das distâncias entre os locais de origem e a central, para a categoria BEF – espécie 26.....	73
Tabela 21 - Síntese da análise da fração Bicadas Bruto.....	77
Tabela 22 - Estatísticas obtidas para a amostra de cargas de BEF 26 recebidas na central, relativamente a valores médios, máximos e mínimos de peso líquido, humidade e densidade ....	78
Tabela 23 - Aplicação do modelo desenvolvido para o ajuste de humidade.....	79
Tabela 24 - Cargas totais amostradas por classes de humidade recebidas na central.....	81



## 1. Introdução

### 1.1. Enquadramento Geral

As questões energéticas são atualmente um dos assuntos mais prementes para qualquer estado soberano, não só face a questões de dependência externa, mas também devido às alterações climáticas com que tanto se relacionam. Nesta perspetiva, a União Europeia (UE) e seus Estado-Membros, têm levado a cabo um esforço para procurar uma autossuficiência energética, com maior eficiência e menores impactes ambientais. Surge assim, um renovado interesse nos recursos renováveis endógenos, tendo-se dado, na última década, especial enfoque à floresta e seus produtos.

As florestas sempre desempenharam diversos papéis, sendo atualmente reconhecido que as suas multifunções (social, económica, ecológica e ambiental) estão interligadas e são muitas vezes indissociáveis. Desta forma, é atribuída à floresta uma capacidade produtiva que vai muito para além do lenho retirado das árvores. Cada vez mais, a valorização da biomassa florestal é vista como uma aposta de futuro para corresponder às crescentes necessidades energéticas, nomeadamente ao nível de produção de eletricidade e de calor.

O aproveitamento desta biomassa em Portugal apresenta-se como um grande contributo para o incremento da taxa de utilização de fontes de energia renováveis, fazendo parte das linhas condutoras no âmbito do Quadro Europeu “*Estratégia Europa 2020*”.

Contudo, este material tem características próprias, limitantes da sua utilização e valorização, que devem ser conhecidas e analisadas para melhor se aproveitar esta matéria-prima.

A presente dissertação pretende contribuir, assim, para o conhecimento da cadeia envolvida no abastecimento de centrais termoelétricas com biomassa florestal residual (BFR), originada na produção de rolaria de *Eucalyptus globulus*. Esta madeira é destinada à indústria de celulose, enquanto a biomassa florestal residual pode ser valorizada como biocombustível para produção de energia.

Neste trabalho foram considerados: o efeito da operação de abate e recheia, relativamente ao estado da biomassa residual; as condições de transporte até uma central bioelétrica, dependentes do estado e dimensão do material e do veículo utilizado; e a relação existente entre a humidade e a densidade dos resíduos florestais transportados.

O conhecimento da humidade da biomassa é relevante na medida em que a densidade e o valor pago pelo material são proporcionais à humidade, enquanto a energia produzida é inversamente proporcional à humidade.

## 1.2. Objetivos e Estrutura da Dissertação

Para melhor concretizar as linhas gerais propostas, constituem-se como objetivos da presente dissertação:

– Fazer um enquadramento à situação atual do país no que toca à floresta e seus principais produtos, com destaque para a espécie dominante (*Eucalyptus globulus*).

– Fazer um enquadramento da problemática dos resíduos de exploração, em especial da biomassa florestal residual (BFR) resultante do abate de *E. globulus*, sua logística e cadeia de abastecimento.

– Analisar a relação entre o conteúdo em humidade da BFR com a densidade aparente, tendo por base o trabalho de campo desenvolvido e os dados fornecidos por uma central termoelétrica dedicada.

Para tal, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre as condições atuais existentes em Portugal, foi desenvolvido trabalho de campo, e foram efetuados contactos com a Central Termoelétrica de Terras de Santa Maria, S.A., localizada na freguesia de Carregosa, concelho de Santa Maria da Feira.

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, procedendo-se neste primeiro a uma introdução geral às questões do aproveitamento da biomassa florestal e relevância deste estudo, seguida da definição de objetivos e apresentação da organização do documento.

No Capítulo 2 enquadra-se e caracteriza-se a situação atual da floresta portuguesa, reservando-se para o terceiro capítulo a revisão bibliográfica relativa à problemática dos resíduos florestais. Aqui apresentam-se as principais operações de exploração florestal, define-se e caracteriza-se a biomassa florestal residual dando enfoque à humidade, densidade e conteúdo energético, e procede-se a uma descrição sumária das questões de logística e da cadeia de fornecimento.

No Capítulo 4 faz-se uma breve apresentação dos dois casos em estudo, a saber, o trabalho de campo realizado no âmbito da presente investigação, e a parceria desenvolvida com a Central Termoelétrica de Terras de Santa Maria, S.A. De seguida são descritos os procedimentos metodológicos adotados para cada estudo de caso.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e a sua análise.

Por fim, no Capítulo 6 são discutidos os resultados do trabalho, e apresentadas algumas conclusões.

## 2. A Floresta em Portugal

A floresta foi desde os primórdios da Humanidade utilizada como fonte de abrigo, de energia e de alimento. Com o desenvolvimento de técnicas e tecnologias de manipulação do espaço florestal surgiu o conceito de silvicultura, isto é, a ciência que permite definir um conjunto de tecnologias de intervenção sobre a floresta com o objetivo de garantir uma produção sustentada de madeira (Publicações GIMREF, 2007b).

A evolução da área florestal deveu-se não só à ação do Estado, mas também aos proprietários privados e sociedade em geral, com o crescente reconhecimento e valorização destas áreas como fundamentais para o país.

Atualmente a silvicultura baseia-se não só nas características ecológicas e produtivas, mas também na função social que desempenha. A forma como a floresta é intervencionada para obtenção de produtos e serviços (produtos lenhosos e não lenhosos, recreio e lazer, atividade cinegética, etc.) deve ser compatível com a manutenção da biodiversidade, produtividade, capacidade de regeneração e vitalidade, desenvolvendo-se, assim, uma visão holística da floresta. Este conceito de interação “consciente” entre o homem e a floresta é conhecido por gestão florestal sustentável (Publicações GIMREF, 2007b), que se apresenta como uma necessidade premente para garantir a estabilidade do ecossistema florestal e satisfazer as exigências de uma sociedade em evolução.

Deste modo, foi necessário uma integração deste setor nas políticas nacionais, tornando-o num dos eixos de desenvolvimento. Em consequência, a definição legal determina que a floresta é *“o terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, onde se verifica a presença de árvores florestais que tenham atingido, ou com capacidade para atingir, uma altura superior a 5 metros e grau de coberto maior ou igual a 10% (ICNF, 2013b), podendo ser encontradas diversas espécies, com uma distribuição muito variável”*.

### 2.1. Enquadramento Legal

Tanto a nível nacional como comunitário, são diversos os diplomas que estabelecem o enquadramento legal para o uso e manutenção da área florestal.

Em Portugal, a **Lei de Bases da Política Florestal** foi redigida em 1996 (*Lei nº 33/1996, de 17 de Agosto*), definindo as diretrizes e medidas gerais para a política florestal, ao nível do ordenamento, gestão, conservação e proteção da floresta, e indicando e hierarquizando os instrumentos de gestão a elas afetos.

Na última década tem surgido um novo conjunto de instrumentos de política, tanto nacionais como internacionais, cujo objetivo é a integração das questões energéticas com as ambientais, procurando mitigar os impactes (ambientais, económicos e sociais) resultantes das emissões poluentes derivadas das crescentes necessidades em energia. Nesta perspetiva, surge uma crescente integração da floresta na política energética.

A Resolução do Conselho de Ministros nº 114/2006, de 15 de Setembro, que aprova a **Estratégia Nacional para as Florestas (ENF)**, apresenta-se como o instrumento de planeamento

setorial nacional para este setor, onde é reconhecida a importância da floresta para o desenvolvimento do país, nas suas valências social, económica e ambiental. Foi recentemente revista, (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 6-B/2015, de 4 de Fevereiro, 2015*), assentando a sua atualização nas linhas estratégicas anteriormente definidas, conjuntamente com os novos desenvolvimentos europeus e internacionais. Contudo, a matriz de operacionalização foi reformulada, por forma a melhor corresponder à evolução verificada no setor, assim como, permitir uma melhor articulação com os diversos diplomas existentes (Programas Nacionais Setoriais, Planos de Ação, Planos Regionais de Ordenamento Florestal, Planos de Gestão Florestal).

Este diploma alinha-se com o **Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER)**, que resulta da transposição para o direito interno português da **Diretiva 2009/28/CE**, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Abril, relativa à promoção da utilização da energia proveniente de fontes renováveis, e que obriga cada Estado-membro a aprovar e notificar à Comissão um plano nacional de ação para as energias renováveis.

Recentemente revisto na ótica do Quadro Comunitário “*Europa 2020*”, o PNAER 2020 vem reforçar a aposta nas energias renováveis como eixo central da estratégia energética, definindo uma meta de 31% para o consumo final bruto de energia proveniente de recursos endógenos renováveis. Este plano reitera o valor do papel da biomassa florestal como recurso energético de utilização nos setores domésticos, nos serviços públicos e nos transportes, dando prioridade à instalação efetiva da potência já atribuída, integrando mecanismos de flexibilidade na concretização dos projetos, assim como na aprovação de medidas de promoção da produção da biomassa florestal, assegurando a satisfação das necessidades de consumo nas centrais já instaladas e a instalar (*Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013, de 10 de Abril*).

É neste contexto que a aplicação da biomassa florestal enquanto combustível destinado a valorização energética prospera, com diplomas legais no seu seguimento, onde se procura medidas concretas para regular esta atividade.

É o caso do **Decreto-Lei n.º 5/2001, de 10 de Janeiro**, e do **Decreto-Lei n.º 179/2012, de 3 de Agosto**. O primeiro estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa de modo a assegurar o abastecimento das centrais dedicadas a biomassa florestal, enquanto o segundo alarga os prazos previstos para efeitos de acesso ao incentivo à construção e exploração de centrais dedicadas a biomassa florestal, estabelecidos no DL 5/2011, de 10 de Janeiro.

Existem ainda outros documentos de orientação e apoio às questões da floresta, dos quais assume relevância o **Código de Boas Práticas para uma Gestão Florestal Sustentável**, produzido no âmbito da *Norma Portuguesa (NP 4406/2003) – Sistemas de Gestão Florestal Sustentável. Aplicação dos critérios pan-europeus para a gestão florestal sustentável*, pela Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ. Este documento pretende ser um guia de conduta que enquadra as principais questões colocadas pelo novo paradigma de gestão florestal, e destina-se aos proprietários e gestores florestais que, pretendendo iniciar ou melhorar o seu sistema de gestão florestal, necessitem de informação sobre os princípios e as exigências da gestão sustentável das suas matas. Está organizado de acordo com os temas determinantes das

opções na gestão florestal, e parte da necessidade de programação e planeamento da atividade florestal. Esta decorre num longo período de tempo, sendo fortemente condicionada por fatores naturais imprevisíveis, alterações dos mercados dos produtos e serviços, e exerce-se sobre sistemas vivos e complexos, sujeitos a fatores de risco elevado como fogos, doenças e pragas. Torna-se, por isso, imperioso gerir a floresta integrando todos estes fatores num planeamento adequado, que conjuguem cuidados ambientais, capacidades produtivas, capacidades operacionais e os objetivos estabelecidos para a área, admitindo sempre a possibilidade de rever o planeado. O planeamento e a programação operam a várias escalas, quer espaciais, quer temporais, que impõem por isso, planos e programas de âmbitos distintos e com grau de detalhe adaptado a cada situação (Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ, 2004).

## **2.2. Caracterização da Floresta Portuguesa**

Uma boa gestão da floresta requer dados fiáveis que permitam analisar a situação presente e tomar decisões baseadas na avaliação efetuada. Para tal, existem programas de inventariação e monitorização de recursos florestais. O inventário de recursos florestais implica a caracterização de uma determinada área florestal, enquanto a monitorização tem como objetivo a avaliação das alterações desses mesmos recursos, tentando avaliar as causas das mudanças observadas, assim como verificar se os planos de gestão florestal estão a decorrer de acordo com o previsto (Publicações GIMREF, 2007b).

Em Portugal, a Gestão Florestal está sob alçada do Instituto da Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), sendo este o organismo que regula todas as questões relacionadas com a floresta, bem como o responsável pela realização de inventários periódicos, que procuram convergir toda a informação relevante num único documento, que actua como instrumento de gestão do território português, auxiliando nos processos de tomada de decisão.

Desta forma, o Inventário Florestal Nacional (IFN) é um processo de produção de estatísticas, e de cartografia-base, sobre a abundância, estado e condição dos recursos florestais nacionais, fornecendo informação detalhada sobre aspetos fundamentais dos recursos florestais, tais como, áreas das principais espécies florestais, existências e disponibilidades lenhosas, armazenamento de carbono, vitalidade e diversidade florestal (ICNF, 2013a). Este inventário abrange a totalidade do território nacional e todas as superfícies com uso florestal, independentemente do regime jurídico de propriedade, do estatuto de proteção/conservação dos espaços e dos objetivos de gestão dos povoamentos florestais (ICNF, 2013a).

O 6º Inventário Florestal Nacional (IFN6), realizado em 2010, apresenta uma nova metodologia de elaboração, principalmente ao nível do período temporal, tendo-se encurtado a periodicidade de 10 para 5 anos. Assim, pretende-se permitir um acompanhamento mais rigoroso das alterações da floresta portuguesa. Deste modo, tornou-se necessário um processo de revisão e adaptação dos dados de inventários anteriores, de modo a assegurar a total comparabilidade com a versão atual, pelo que os dados referentes aos anos de 1995 e 2005 não serão idênticos aos publicados nas respetivas versões oficiais do IFN (ICNF, 2013a).

Presentemente, apenas estão disponíveis os dados relativos à primeira fase do processo, designada por *Avaliação das áreas por classes de uso e ocupação do solo*, de onde resulta o relatório preliminar de Fevereiro de 2013. Este documento apresenta, contudo, apenas a informação relativa ao território continental, uma vez que os territórios insulares têm o seu próprio processo de inventariação, sendo integrados somente na versão final do IFN6.

### Caracterização atual do coberto florestal nacional

Assim, e de acordo com o IFN6, em 2010, a Floresta surge como o uso do solo predominante no território continental, com uma ocupação de 35,4%, a que correspondem 3 154 800 ha, seguido pelos Matos e Pastagens (com predominância dos Matos), e pela Agricultura (Figura 1). Importa referir que as áreas de uso florestal compreendem as superfícies arborizadas (correspondente aos designados povoamentos florestais) e as superfícies temporariamente desarborizadas (superfícies ardidas, cortadas e em regeneração), para as quais se prevê a recuperação do seu coberto arbóreo no curto prazo.

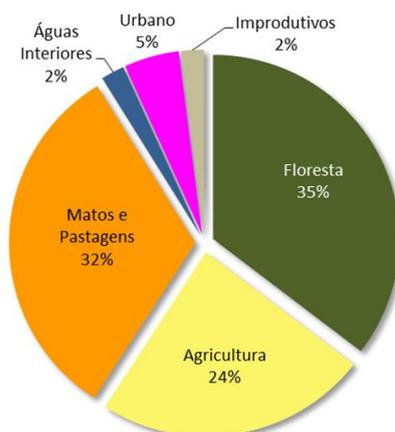


Figura 1 - Distribuição dos usos do solo em Portugal continental para o ano de 2010. Fonte: (ICNF, 2013a)

No período temporal analisado (1995-2010) verificou-se uma diminuição da área florestal de 4,6%, atribuída à conversão deste tipo de uso do solo para matos e pastagens, e em menor dimensão, para uso urbano (Figura 2). Todavia, a diminuição da área de floresta está também muito associada à diminuição das superfícies temporariamente desarborizadas (ardidas, cortadas e em regeneração). Em tendência contrária, verifica-se o aumento da área arborizada, explicado pela capacidade de regeneração natural da floresta e pelo investimento por parte dos proprietários florestais em ações de arborização e rearborização.

O INF6 apresenta ainda uma distribuição da floresta portuguesa por NUT II, observando-se uma diminuição nas regiões Norte e Centro e um aumento no Alentejo.

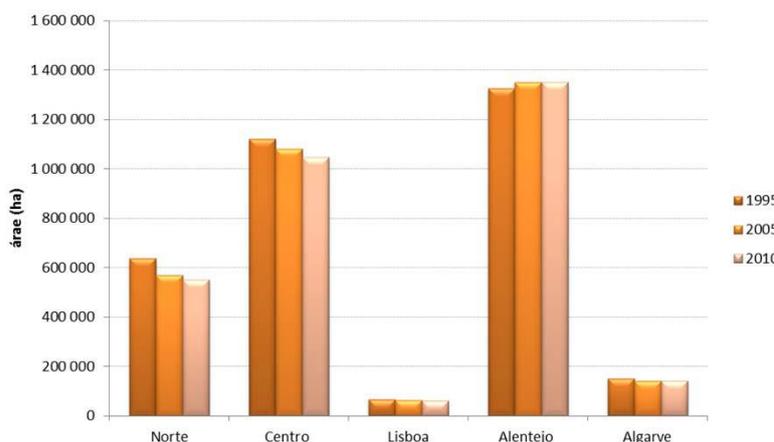


Figura 2 - Evolução das áreas de floresta, por Região NUT de nível II. Fonte: (ICNF, 2013a)

Relativamente às espécies florestais presentes em Portugal, o IFN6 aponta um domínio do Eucalipto, com uma ocupação do solo da ordem dos 26% (811 943ha), seguido pelo Pinheiro-bravo e Sobreiro, ambos com 23% (714 445ha e 736 775ha, respetivamente), e por fim, a Azinheira, com 11% de ocupação do solo (331 179ha) (Figura 3).

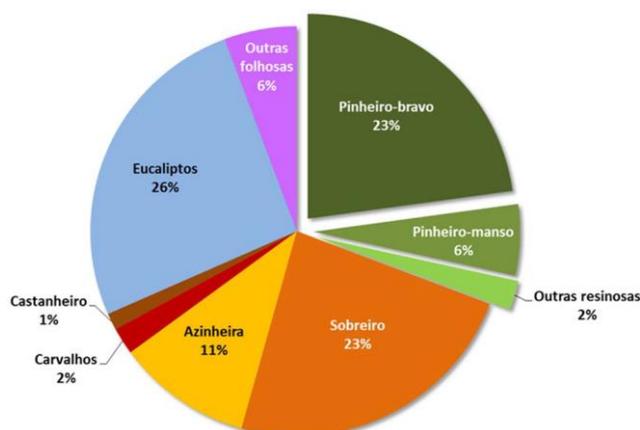


Figura 3 - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies. Fonte: (ICNF, 2013a)

### 2.3. O Caso Particular do *Eucalyptus globulus*

A floresta portuguesa é sobretudo floresta cultivada, resultado de um esforço de reflorestação do território nacional, iniciado ainda no século XIX. Um dos exemplos desta arborização artificial é o Eucalipto, nas várias espécies presentes, e que foi introduzido em Portugal no final dos anos 1880/90.

Originário da Austrália, o Eucalipto chegou a Portugal pela mão de botânicos apenas como espécie ornamental em parques e jardins. No entanto, rapidamente atraiu a atenção da

silvicultura devido à sua rápida taxa de desenvolvimento e fácil adaptação às condições climáticas do país, tendo-se verificado desde logo características que o tornaram interessante para a plantação: a madeira era considerada boa e apresentando diversos usos, que variavam desde a carpintaria, a curtimenta até à indústria naval; o grande consumo de água a que procedia indicava-o para utilização em terrenos pantanosos, tornando salubres regiões doentes; e a capacidade de rebentar de touça permitia a sua exploração em talhadia, aumentando assim o interesse na sua plantação (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007).

A possibilidade de aplicação do lenho para fabrico de pasta para papel foi desde logo equacionada, mas apenas na segunda década do século seguinte foi testada, com o arranque da laboração da primeira fábrica portuguesa (e possivelmente também mundial) de celulose que utilizava o eucalipto como matéria-prima, a Caima Pulp Company. Contudo, com uma produção anual de 5000 ton/ano, esta seria a única fábrica a utilizar o eucalipto durante as décadas seguintes e, portanto, com pouca expressão no panorama nacional.

A evolução desta indústria teve um grande impulso durante a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento de mais e melhores tecnologias, o que se traduziu numa maior aposta no eucalipto. A constituição de novas empresas neste setor surgiu então como uma consequência direta, apontando-se cinco novas instalações em Portugal que iniciaram a laboração na década de 1950, e onde a utilização de eucalipto como matéria-prima entrava em percentagens que variavam entre os 30% e os 100%, a saber: Caima Pulp Company, instalada em Albergaria-a-Velha e Constância; a Companhia Portuguesa de Celulose – Comporcel, localizada em Cacia; a Sociedade Industrial de Celulose – SOCEL, sediada em Setúbal; e a Celuloses da Beira – CEELBI, localizada em Leirosa, Figueira da Foz (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007).

Atualmente, o panorama da indústria da celulose mantém os intervenientes, adicionando empresas-filhas criadas dentro das necessidades da Fileira Florestal. O processo industrial sofreu melhoramento e refinação mantendo, contudo, como matérias-primas o lenho de eucalipto e de pinho.

### ***2.3.1. Produção de Eucalipto em Portugal***

A área florestal ocupada pelo eucalipto em Portugal tem aumentado com os anos, resultado da evolução e crescimento da indústria da celulose e da dinamização da fileira florestal.

Os primeiros dados conhecidos, apontavam para 8 mil hectares de floresta ocupada por eucaliptos e acácias, em 1927, num total de área florestada superior a 2,1 milhões de hectares. Até à década de 50 desse século, o crescimento do eucaliptal manteve-se a um ritmo lento, sendo indicado o valor de 50 mil hectares. Contudo, o referido impulso provocado pela Segunda Guerra Mundial na indústria da celulose teve como consequência a explosão da cultura do eucalipto, apontando-se para uma área por ele ocupada de cerca de 150 mil hectares em 1960, que atingiu os 450 mil hectares em 1990, entre povoamentos puros e mistos ou dispersos (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007). Atualmente, a área ocupada pelo eucaliptal é superior a 800 mil hectares, num total de mais de 3 milhões de hectares de floresta em Portugal (ICNF, 2013a). É de notar que a aquisição de terrenos por empresas ligadas à indústria da celulose, por

forma a garantir o abastecimento de matéria-prima, foi também um fator preponderante para o crescimento observado.

A grande facilidade de aclimação do eucalipto ao território nacional é um dos fatores determinantes que permitiu uma tão grande introdução na floresta portuguesa. O *Eucalyptus globulus*, espécie dominante em Portugal, apresenta uma produtividade muito variável, que reflete o clima, a fertilidade do solo (disponibilidade de nutrientes), e acessibilidade a recursos hídricos, sabendo-se que em regiões de clima mediterrâneo de Inverno suave, com precipitação anual média acima de 700mm, são obtidos bons valores de produtividade. Estas são as condições climáticas habituais no Litoral de Portugal a norte do rio Tejo, sendo igualmente aqui que se encontram os principais povoamentos desta espécie (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007).

A produtividade de um sistema florestal representa a produção de biomassa desse sistema por unidade de tempo e por unidade de área, sendo expressa normalmente em toneladas de biomassa por hectares e por ano ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007).

Segundo Fabião (1986), na região litoral centro de Portugal, a produtividade de biomassa da parte aérea de eucaliptos varia entre 16 e 24  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , para a primeira rotação em povoamentos com mais de 4 anos e sem aplicação de fatores de intensificação cultural, como por exemplo, a adição de fertilizantes no solo. Verifica-se uma variação considerável quando comparada com o pinheiro bravo, para a mesma região, que estima uma produtividade de 10 a 14  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ .

Um outro estudo, orientado por Soares, Tomé e Pereira em 2006, manipulou as disponibilidades em água e nutrientes em parcelas contíguas, com o objetivo de estudar a origem das variações na produtividade do eucalipto. Conduzido durante 6 anos na zona de Óbidos (região do litoral centro), o ensaio testou 4 tratamentos experimentais, num igual número de parcelas contíguas, consistindo em:

1. Rega das parcelas de Abril a Outubro (I)
2. Aplicação de um fertilizante em Março e Outubro, todos os anos (F)
3. Rega tal como em 1 à qual se adicionou a aplicação de uma solução líquida completa de fertilizante (IL)
4. Parcela de controlo, sem rega nem fertilização (C)

Após o período de teste, foram determinados os resultados da biomassa acumulada na plantação, tendo-se verificado que as parcelas com tratamento IL (rega e fertilização) tinham quase o dobro da biomassa da parcela de controlo (C), e apresentavam um avanço de dois a três anos em relação às produções usuais na região. Observou-se igualmente que a resposta aos tratamentos se foi atenuando com a idade do povoamento, mantendo-se a produtividade nas parcelas com rega e fertilização superior à de controlo (cerca de 2,7%).

Sabe-se que o crescimento das plantas depende da capacidade de assimilação, por parte das folhas, do  $\text{CO}_2$  atmosférico, e incorporação do carbono e água nas moléculas orgânicas que constituem a biomassa vegetal. Ou seja, os processos fotossintéticos desempenham um

importante papel no desenvolvimento de espécies arbóreas. Porém, vários estudos tinham já verificado que as elevadas taxas de crescimento do eucalipto não se devem a maiores velocidades de assimilação fotossintética do CO<sub>2</sub>. Nesta perspetiva, Soares, Tomé e Pereira avaliaram os fatores determinantes para a elevada produtividade dos eucaliptos em Portugal, tendo concluído que não existe apenas uma causa, mas sim um conjunto de causas que confluem num efeito sinérgico, sendo o fator de destaque o tempo durante o qual o processo fotossintético decorre. Sendo uma árvore de folha perene, o eucalipto realiza a fotossíntese durante quase todo o ano. A sua taxa de assimilação é máxima na primavera e início do verão, mas o clima ameno do litoral ibérico permite a manutenção do processo de fotossíntese durante uma grande parte do inverno. Assim, estes autores concluíram que as elevadas taxas de crescimento que o eucalipto apresenta em Portugal resultam da boa assimilação fotossintética do carbono pelas árvores num povoamento, que por sua vez, é o resultado do bom aproveitamento do tempo disponível e da massa de folhas presentes ao longo do ano, em detrimento de outra qualquer característica metabólica (Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento, 2007).

A produção de eucaliptos apresenta, contudo, alguns impactos que não devem ser negligenciados.

A sobreposição do eucalipto ao pinheiro-bravo como matéria-prima para a indústria da celulose foi um dos fatores que potenciou o aumento da área por ele ocupada. A facilidade de expansão e o seu rápido crescimento traduzem-se numa propensão para a fixação do eucalipto em áreas ardidas, o que conjugado com o facto de não ser uma espécie autóctone, potencia as características invasoras desta folhosa.

A exploração florestal do eucalipto consiste em procedimentos de manutenção e abate, com a execução das devidas operações associadas. Para tal, é necessário o uso de maquinaria e veículos pesados, fazendo múltiplas passagens pelos terrenos florestais, o que provoca degradação e compactação do solo, nomeadamente, degradação da sua camada superficial e do coberto vegetal, o que aumenta o risco de erosão.

De forma semelhante, a exploração da biomassa afeta a reposição de nutrientes nos solos, dado que, de acordo com Pitman, (2006), a quantidade de nutrientes encontrada na folhagem e casca é superior à existente nas raízes e ramos, que por sua vez, é também superior aos valores verificados no lenho. Desta forma, a retirada da biomassa residual da floresta implica a não devolução destes nutrientes essenciais, e portanto, uma diminuição da fertilidade do solo e, consequentemente, na sua produtividade.

### 3. Problemática dos Resíduos de Exploração Florestal

#### 3.1. Origem e suas Características

A exploração da floresta em Portugal faz-se maioritariamente através de operações de plantação, de manutenção e de abate. A manutenção florestal inclui a condução de povoamentos e o controlo de matos, enquanto o abate é parte integrante dos procedimentos de exploração florestal de material lenhoso, e que também dá origem a resíduos que podem ser processados como Biomassa Florestal Residual (BFR).

Sendo relativas a finalidades diferentes, as principais operações envolvidas nestes processos podem ser observadas na Figura 4.

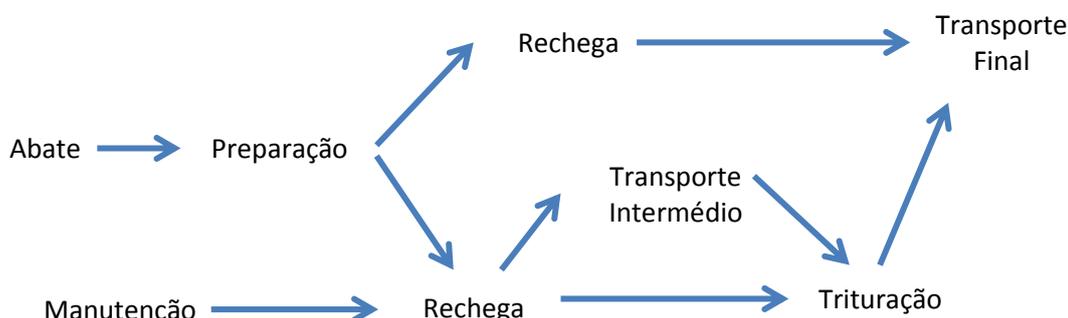


Figura 4 - Fluxo de BFR resultante de operações de abate e manutenção florestal.

##### 3.1.1. Operações de Manutenção Florestal

Tal como afirmado no início do capítulo, as operações de manutenção florestal incluem a condução de povoamentos, que está associada à monitorização dos povoamentos florestais com vista à otimização da produção de madeira, através do controlo por desbaste e desrama; e o controlo de matos, que procura diminuir a quantidade de material combustível na floresta, em simultâneo com o não desenvolvimento de espécies invasoras.

A condução de povoamentos é uma das atividades previstas no *Código de Boas Práticas para uma Gestão Florestal Sustentável*, estando definida como a manutenção dos povoamentos com objetivo de otimizar a relação entre os recursos empregues e os produtos obtidos, assegurando em simultâneo o desenvolvimento sustentável dos povoamentos até à maturidade, e maximizando o seu valor potencial e a qualidade dos seus produtos. Para tal, é necessário possuir um conhecimento prévio da situação de referência (ao nível do povoamento, dos recursos de gestão disponíveis, e do mercado recetor dos produtos florestais), dos riscos e fatores adversos à atividade (tais como: secas, pragas, doenças ou fogos), e dos condicionalismos legais impostos.

Os principais impactos apontados neste documento são a substituição de ecossistemas de grande valor de conservação; a transformação de valores geológicos, ecológicos, patrimoniais ou culturais, bem como da estrutura paisagística na qual a região se insere; a modificação do microclima, hidrologia, estrutura do solo e da composição faunística e florística do local e da sua vizinhança, pela alteração do coberto vegetal, resultando em alterações da vitalidade do

povoamento e conseqüentemente na qualidade dos produtos a extrair futuramente; os reflexos na comunidade local ao nível económico-social; e o contributo para a estabilização dos mercados (Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ, 2004).

Por seu lado, o controlo de matos tem como principais objetivos a diminuição do risco de eclosão de fogos florestais, e facilitação da intervenção para controlo dos mesmos e dos bens, e ainda o auxílio na implementação e desenvolvimento de espécies de maior interesse para pastos. No seu trabalho, o professor Fernando Santos (Santos, 1999) identifica os principais fatores que interferem no controlo de matos, as diferentes alternativas a adoptar, e os vários equipamentos disponíveis para utilização, divididos por categoria. Este autor começa por afirmar que “a remoção completa de todos os arbustos não é, geralmente, a melhor opção pois, além do custo que envolve, em termos ecológicos não é aconselhável”. Tal deve-se à competição entre a vegetação, que resulta geralmente num aumento do número de arbustos e conseqüente diminuição das plantas forrageiras, muito importante em áreas de pastagem para manutenção do potencial de sustentação de rebanhos e fauna selvagem. O controlo deve, portanto, procurar um ponto de equilíbrio que mantenha o estrato herbáceo, conservando as condições ideais ao desenvolvimento da floresta.

De seguida, são identificados os cinco principais fatores que interferem no controlo de matos, a saber: i) clima e sua relação com as características físicas da vegetação; ii) tipos de vegetação presentes e suas principais características (distribuição, composição, quantidade, dimensão, forma de propagação); iii) tipo e características do solo, principalmente ao nível da textura e percentagem de matéria orgânica; iv) topografia e orografia do terreno, com particular atenção às encostas e ventos dominantes; e v) existência de áreas sensíveis nas imediações da zona a intervir, que irão limitar os meios de controlo a utilizar.

Vários são os tipos de intervenção apresentados neste documento, estando agrupados em controlo mecânico, químico, biológico, e com recurso a fogo. Cada uma destas categorias possui vantagens e inconvenientes dependentes da tecnologia a utilizar, nível de investigação, impacto ambiental, aspetos económicos associados, entre outros. As diferentes técnicas a adotar devem permitir conhecer o seu impacto e evolução no meio, bem como o custo e eficácia associados, por forma a fazer uma comparação das várias alternativas, identificando padrões de otimização. O controlo com meios mecânicos é realizado geralmente através do corte da vegetação, e apesar de ser tradicionalmente o método mais utilizado tem vindo a ser substituído pelos restantes métodos. A utilização de pesticidas e herbicidas apresenta-se como uma opção economicamente vantajosa, relativamente às restantes, devido à menor frequência de aplicação. É, contudo, uma técnica que requer um estudo aprofundado, quer ao nível da sua eficácia em função do solo, clima e do próprio crescimento das plantas, quer ao nível da vegetação a suprimir e/ou a favorecer, uma vez que tem vários riscos ambientais associados (poluição dos solos, lençóis freáticos, etc.). O controlo de matos através de recursos biológicos é tipicamente efetuado por animais, como cabras e ovelhas, sendo uma prática de difícil gestão, dada a necessidade de manter o equilíbrio erva-arbustos. Por último, a utilização do fogo é também uma técnica com baixo custo, e considerada rápida e segura, desde que efetuada de acordo com as devidas

condições; no entanto, esta técnica mostra-se ineficaz quando as espécies a controlar se propagam através de órgãos subterrâneos (Santos, 1999).

Relativamente aos equipamentos usados nas operações de controlo de matos, são apresentados e caracterizados diversos, estando divididos em três principais categorias: manuais, mecânicos e para aplicação de pesticidas. Destes interessa ressaltar as motosserras, que sendo um dos equipamentos mais comuns e versáteis, são também usados nas operações de abate.

### ***3.1.2. Operações de Abate***

Tal como afirmado no início deste capítulo, o abate é um procedimento de exploração florestal orientado para a produção de material lenhoso, e que dá origem a resíduos de abate, que podem ser processados como Biomassa Floresta Residual (BFR).

As atividades de exploração florestal de material lenhoso estão também contempladas no Código de Boas Práticas Florestais, incluindo-se nesta categoria o corte/abate, a recheia e o transporte. Neste documento são definidos como objetivos principais a otimização da extração dos produtos lenhosos, de acordo com as melhores utilizações futuras; a garantia da continuidade dos sistema em termos de produtividade e de diversidade, minimizando impactes negativos, tais como, problemas de destruição da estrutura do solo, de interferência na vida selvagem, em locais como zonas húmidas, sítios arqueológicos, ou outras áreas sensíveis; e a operação com custos mínimos e controlados, flexível a adaptações e que garanta a segurança dos operadores. Neste sentido, torna-se necessário planear as operações a executar e todo o equipamento necessário e disponível, garantir a salvaguarda ambiental (solo, áreas sensíveis, paisagem), avaliar as condições específicas do local a explorar, bem como as condições meteorológicas verificadas durante a operação, e determinar o sistema de corte, recheia e transporte a aplicar (Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ, 2004).

Neste documento são ainda enfatizados os possíveis estrangulamentos destas operações, a saber: inexistência dos equipamentos pretendidos e mão de obra qualificada; má identificação e caracterização das áreas em corte; planeamento deficiente e conseqüente utilização de máquinas de corte e recheia impróprias, assim como da localização de estradas e trilhos, resultando em inadequação dos veículos de transporte à carga transportada. Relativamente a impactos, é de ressaltar a interferência em áreas contíguas, e perturbação de áreas sensíveis por sedimentos ou ramos, especialmente zonas aquáticas; os cortes rasos demasiadamente extensos; os danos no solo, nomeadamente a sua erosão e empobrecimento por não recuperação de nutrientes; a degradação do sistema de drenagem instalado, pela passagem de maquinaria pesada; a acumulação de materiais sobrantes da exploração florestal nas zonas de carregadouro, ou em zonas de descasque; e a reabilitação inadequada da estação após as operações de exploração.

Tipicamente, as operações de exploração florestal após o abate são as apresentadas na Figura 4, seguindo a sequência exposta.

O abate tradicional é efetuado com recurso a uma motosserra. Esta permite ainda a preparação da árvore para a fase seguinte através das operações de desrame, ou seja, corte de ramos e galhos ao longo do tronco; traçagem, isto é, corte da árvore nos comprimentos

pretendidos para posterior transporte; e descasque, que pode ser manual ou mecânico (Rodrigues, 2009). Estas operações podem ser efetuadas com recurso a outros equipamentos mecânicos (ex.: *harvester* ou mesa processadora). Os resíduos resultantes das referidas operações constituem então a Biomassa Florestal Residual (BFR).

De seguida, o material sofre um primeiro transporte, ou recheia, que tipicamente é realizado por equipamentos de pequena dimensão em caminhos florestais desde a zona de abate até à zona de carga, também denominada carregadouro. Aqui incluem-se as tarefas de carregamento do produto, deslocação da viatura, descarga do produto no carregadouro, chão ou veículo de transporte final.

Por último, efectua-se o transporte final desde o carregadouro até à unidade consumidora do produto, sendo este efetuado por veículos de grande capacidade de carga (Rodrigues, 2009).

### **3.1.2.1. Medidas de Silvicultura Preventiva de Incêndios**

Silvicultura preventiva representa os métodos e formas de atuação que promovem uma gestão sustentável da floresta, mantendo, em simultâneo, todas as vertentes do seu valor intrínseco e extrínseco, e a integração da valorização energética na política florestal do país.

Esta integração passa pelas estruturas de prevenção e combate a incêndios florestais (tais como o Plano Nacional de Defesa da Floresta Contra Incêndios (PNDFCI)), e pela concretização territorial das várias funções do espaço florestal. A execução das operações de instalação, gestão e exploração florestal, e ainda de aproveitamento de madeira sem valor comercial, tem a vantagem de poder contribuir para a diminuição do risco de ocorrência de incêndios florestais, através da redução do material combustível existente nas florestas (medidas de silvicultura preventiva). Ao nível do PNDFCI é proposto, para além do apoio à utilização da biomassa florestal em centrais termoelétricas, a realização de uma discriminação positiva desta atividade fora da área de influência das centrais, desde que o material consumido seja biomassa florestal proveniente da gestão de combustíveis, no âmbito das medidas de silvicultura preventiva e da exploração florestal (instalação, condução e extração). É ainda de salientar o facto de os grandes contributos para a valorização da biomassa florestal, poderem ser dados nas regiões onde o Conselho Nacional de Reflorestação intervém, nomeadamente através da definição de uma adequada rede de infraestruturas ao nível da paisagem, passando pela implementação de faixas de redução de combustível e, posteriormente, pela sua manutenção (Lopes et al., 2013).

Das práticas de silvicultura preventiva resultam materiais que também podem ser removidos da floresta para valorizar essa biomassa.

### 3.1.3. A Biomassa Florestal Residual

De acordo com o Decreto-Lei nº 5/2011, de 10 de Janeiro, que estabelece as medidas destinadas a promover a produção e o aproveitamento de biomassa de modo a assegurar o abastecimento das centrais dedicadas a biomassa florestal, a **biomassa florestal** “consiste na fração biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da floresta ou de outras plantações”. Portanto, a biomassa florestal é constituída não só pelo principal produto resultante da gestão da floresta, o tronco, mas também pelos resíduos florestais resultantes de operações de abate e manutenção florestal.

Ainda neste Decreto-Lei pode ler-se que os produtos que poderão ser considerados Biomassa Florestal Residual (BFR) serão devidamente identificados por Portaria dos membros do governo das áreas da Energia e Agricultura. No entanto, não estando ainda publicada a referida portaria, considera-se a BFR como a fração biodegradável dos subprodutos e desperdícios da atividade florestal, sendo estes maioritariamente compostos por lenhina, celulose e hemicelulose, e traduzindo-se nas bicadas, ramos e raízes (Figura 5).

Tradicionalmente, esta fração era vista como não tendo valor económico associado (Rodrigues, 2009). Contudo, nos últimos anos tem-se observado um crescente interesse na valorização desta fração da biomassa, principalmente para efeitos de produção de energia, impulsionado pela natureza renovável deste recurso, e aliado ao desenvolvimento tecnológico (Ferreira, Moreira, & Monteiro, 2009). O contínuo desenvolvimento tecnológico verificado, tanto ao nível dos métodos e tecnologias de gestão florestal, como dos processos de conversão da biomassa em energia, possibilita a sua utilização com baixos custos e elevadas eficiências de conversão. Adicionalmente, este desenvolvimento permite a criação de postos de trabalho, ao incentivar a atividade económica e criando condições para o surgimento de novas empresas no setor. É também de considerar a distribuição desta matéria-prima, uma vez que se trata de um recurso endógeno e com uma elevada ocupação do território nacional (Ferreira et al., 2009). Devido ao seu carácter renovável, a biomassa florestal apresenta ainda uma característica que impulsiona a sua utilização: quando gerida de forma sustentável, as emissões de carbono resultantes da sua queima são aproximadamente iguais à quantidade captada da atmosfera durante o seu processo de crescimento.

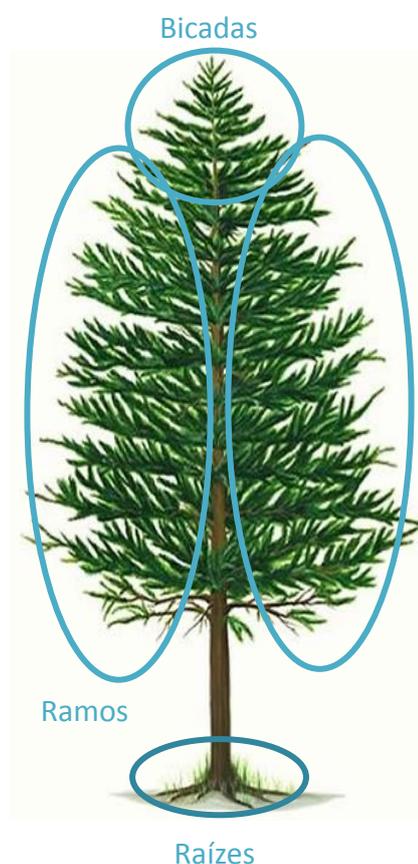


Figura 5 - Composição da biomassa florestal residual resultante de abate.

A energia produzida a partir de fontes renováveis é denominada de *bioenergia*, sendo atualmente encarada como uma das principais opções para substituir os combustíveis fósseis e reduzir as emissões de GEE. Por este motivo, a Comissão Europeia encontra-se a promover um conjunto de programas de incentivo ao uso deste tipo de fonte energética, integrando esta preocupação nos normativos legais que regem a U.E., onde são estipuladas metas, tais como, a obrigatoriedade de 10% do fornecimento de energia ser suprimido através da biomassa até 2010. Atualmente, a biomassa produz cerca de 64% da energia renovável primária na Europa (Ferreira et al., 2009). No entanto, este recurso está amplamente interligado com o setor da agricultura e produção de pasta de papel, podendo resultar em interesses concorrentes.

### **3.1.4. Existência vs Disponibilidade da BFR**

Tal como afirmado anteriormente, a biomassa florestal residual é composta por material resultante de operações de abate de árvores e manutenção florestal.

Em Portugal, o maior contributo para esta fração advém da indústria da madeira para celuloses (pasta) e serrações, que tem como objetivo a recolha e transporte de madeira e biomassa para fornecimento a clientes finais.

Apesar da grande distribuição de biomassa florestal em Portugal, a quantidade existente não se traduz linearmente na disponibilidade efetiva deste recurso. Tal deve-se a condicionalismos resultantes das condições do terreno (declive, risco de erosão e conteúdo em matéria orgânica na camada superficial do solo) e dos equipamentos disponíveis para recolha, tendo Esteban & Carrasco (2011) considerado que 20% do total de biomassa existente não é alcançado por estes equipamentos. Ainda de acordo com estes autores, e de uma forma geral, a quantidade disponível de biomassa diminui com o aumento da inclinação do terreno, sendo nula para declives superiores a 60%.

Ferreira et al. (2009) determinaram que a produção total de BFR em Portugal era aproximadamente  $6,5 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>, estando apenas disponível  $2,2 \times 10^6$  ton.ano<sup>-1</sup>, ou seja, cerca de um terço do total.

Lopes *et al.* (2013) estimaram que 80% da biomassa total existente no território continental português se encontra disponível para aproveitamento energético, mesmo com condicionantes de orografia do terreno. Partindo dos dados do IFN6, estes investigadores dividiram o estudo em 3 fases: i) estimativa do número de indivíduos por classes de idade, para várias espécies com interesse para valorização energética (onde se inclui o *Eucalyptus globulus*) e quantificação visual da distribuição geográfica das espécies analisadas, através de ferramentas SIG; ii) estimativa da BFR decorrente das práticas de silvicultura, através da aplicação de equações de regressão alométrica; iii) cálculo da BFR efetivamente disponível para valorização, atendendo a condicionalismos territoriais, tendo os autores considerado que a recolha de biomassa só é viável tecnicamente em áreas em que o declive do terreno não seja superior a 30%. A análise qualitativa revelou que o *E. globulus* se distribui maioritariamente pelo norte e centro de Portugal, muito associado a regiões onde predominam as indústrias que consomem intensamente este recurso.

Estes resultados são concordantes com o estudo de Ferreira et al., (2009), ao apontar para uma mesma percentagem de material disponível.

Estes estudos demonstram assim a dificuldade em avaliar as questões da biomassa florestal, nomeadamente a residual, relacionadas com os dados de entrada dos modelos, uma vez que a sua determinação é geralmente feita por estimativa e não medição direta; os modelos de cálculo utilizados, cada um com algoritmo próprio; e os condicionalismos definidos em cada estudo, como por exemplo, o declive máximo para o qual é viável a recolha de biomassa.

### **3.2.Dendrometria e Relações Alométricas**

Para estudar o comportamento das plantações de espécies arbóreas é necessário conhecer e monitorizar diversas grandezas físicas (dendrométricas), quer da árvore em si, quer do povoamento e zona envolvente, que são posteriormente relacionadas através de modelos matemáticos.

Para melhor caracterizar um povoamento, é ainda importante a recolha de informação **não dendrométrica**, isto é, outra informação relevante para a caracterização do povoamento mas que não implica a medição de árvores. Estes dados são também importantes para a avaliação da gestão sustentável de uma área florestal. São exemplos de informação não dendrométrica a: identificação e caracterização da parcela em estudo, caracterização do povoamento no qual a parcela se insere, avaliação do sub-coberto arbustivo e herbáceo, recolha de informação sobre fogos ou tratamentos culturais recentes, caracterização do solo e da folhada, avaliação de sinais de erosão, avaliação do sub-bosque, madeira morta, regeneração natural, e estado sanitário do povoamento ((Publicações GIMREF, 2007a) e (Publicações GIMREF, 2007b)).

#### **3.2.1. Dendrometria**

A dendrometria procura quantificar as várias dimensões da árvore, através da medição direta de variáveis dendrométricas, bem como das propriedades que caracterizam os povoamentos florestais.

Desta forma, uma variável dendrométrica refere-se genericamente a qualquer avaliação, geralmente quantitativa, que é feita em árvores ou povoamentos, podendo ser definida para cada um destes; vulgarmente é dada por unidade de área (hectare). Grande parte das variáveis ao nível do povoamento tem a sua correspondente ao nível da árvore, obtendo-se simplesmente por soma ou média desta última, para todas as árvores que fazem parte do povoamento (Publicações GIMREF, 2007b). Nas Tabela 1 e Tabela 2 apresentam-se as principais variáveis dendrométricas, quer ao nível da árvore, quer ao nível do povoamento, cuja representação esquemática pode ser observada na Figura 6.

Tabela 1 - Principais variáveis dendrométricas ao nível do povoamento. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007b)

Variável	Nomenclatura	Definição
Idade do Povoamento	t	Variável apenas válida para povoamentos regulares. Nestes casos, é igual à idade das árvores que o constituem (i.e., trata-se da média das idades das árvores que constituem o povoamento)
Área Basal do Povoamento	G	Soma da área seccional das árvores do povoamento, referida ao ha
Número de Árvores por ha	N	Número de árvores que existem no povoamento, referido ao ha
Diâmetro Quadrático Médio	dg	Diâmetro correspondente ao da árvore média, avaliado com base na área seccional média
Altura Média do Povoamento	$\bar{h}$	Média aritmética das alturas das árvores do povoamento
Altura da Árvore Média	hg	Avaliação da altura da árvore média do povoamento, avaliada com base na área seccional média
Altura Dominante	hdom	Altura média das árvores dominantes do povoamento (variável essencial para avaliar a capacidade produtiva da estação)
Volume Total do Povoamento	V	Soma do volume total de todas as árvores do povoamento, referida ao ha
Biomassa Total do Povoamento	W	Soma da biomassa total de todas as árvores do povoamento, referida ao ha
Índice de Área Foliar	Lai	Soma da área de folhas de todas as árvores do povoamento por unidade de área

Tabela 2 - Principais variáveis dendrométricas ao nível da árvore. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007b)

Variável	Nomenclatura	Definição
Idade da Árvore	t	Número de anos da árvore. No caso de uma plantação, a idade pode ser referida à germinação da planta no viveiro ou à data da plantação. Por vezes utilizam-se os termos idade da semente e idade desde a plantação para indicar qual das idades está a ser referida
Diâmetro à Altura do Peito	d	Diâmetro de um círculo com uma área igual à da secção da árvore a 1,30 metros do solo
Área Basal ou Área Seccional	g	Área da secção da árvore a 1,30 metros do solo
Altura Total	h	Altura medida desde a base da árvore até ao fim do último lançamento
Altura da Base da copa	Árvores de Porte Ereto	Altura da Base da Copa - hcb Altura desde a base da árvore até ao início da copa, sendo esta definida geralmente como o ponto do tronco no qual se inserem ramos vivos em, pelo menos, 3 quadrantes (em alternativa, a base da copa pode ser definida como o ponto do tronco no qual se insere mais do que um ramo vivo) (ex. pinheiro bravo)
	Árvores com Copa Ramificada	Altura da Bifurcação - hbif Altura desde a base da árvore até à linha imaginária que delimita inferiormente a copa, utilizando-se os termos " <i>altura da bifurcação</i> " para designar a altura desde a base da árvore até à parte superior do início da bifurcação do tronco (hbifurc), e " <i>altura do fuste</i> " para designar a altura desde a base da árvore até à parte inferior do início da bifurcação do tronco (hfuste) (ex. sobreiro)
Raios de Copa	rcj	O raio de copa segundo a direção <i>j</i> é a distância desde o centro da árvore até ao limite exterior da copa na direção <i>j</i> . Numa árvore medem-se geralmente 4 ou 8 raios de copa, geralmente segundo os pontos cardeais. Nas plantações, contudo, os raios da copa são medidos segundo a direção da linha de plantação e a direção perpendicular a esta
Pares (diâmetro, altura), a diferentes alturas do tronco	(di,hi)	A avaliação do perfil do tronco faz-se com base na medição de sucessivos pares (diâmetro, altura) a diferentes alturas do tronco (Figura 6)
Volume Total	v	Volume do tronco da árvore. Para árvores com copa ramificada, considera-se o volume do tronco apenas até à altura da bifurcação. Quando a árvore possui pernadas de grandes dimensões (por exemplo, sobreiro ou azinheira), pode ainda calcular-se o volume das pernadas
Biomassa Total	w	Somatório das diferentes componentes da biomassa total da árvore (lenho, casca, ramos, folhas e raízes)
Área Foliar	la	Área total de folhas existentes na árvore

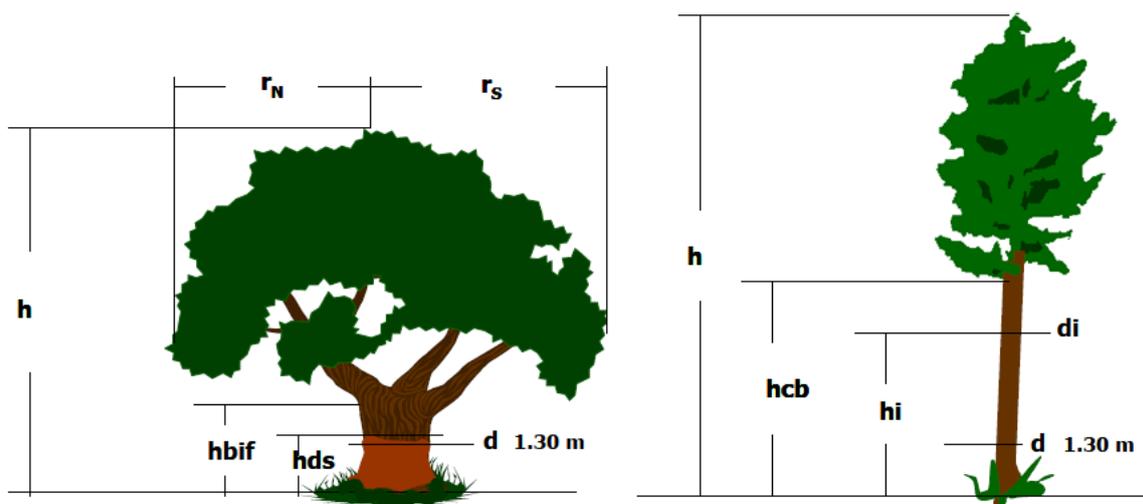


Figura 6 - Representação esquemática das principais variáveis dendrométricas ao nível da árvore.

Fonte: (Publicações GIMREF, 2007b)

### 3.2.2. Relações Alométricas para *Eucalyptus globulus*

As variáveis dendrométricas não permitem o total conhecimento das características da árvore e do povoamento, tendo-se desenvolvido para tal equações alométricas, que estabelecem relações quantitativas entre as características medidas na árvore e outras propriedades de igual importância, mas geralmente mais difíceis de avaliar. Estas equações, geralmente de regressão, são muito utilizadas por exemplo na avaliação da altura ou do volume da árvore, podendo ser ajustadas especificamente para um determinado inventário ou obtidas por pesquisa bibliográfica (Publicações GIMREF, 2007a).

Em Portugal, o Centro de Estudos Florestais do Instituto Superior de Agronomia tem-se debruçado sobre estas relações, tendo definido equações para a estimativa da biomassa total e por componentes para várias espécies presentes nas florestas nacionais. Para tal, dividiram a árvore em três secções e consideraram a biomassa dos diversos componentes que a constituem (Publicações GIMREF, 2007a), a saber:

- Tronco, separado em lenho (madeira) e casca
- Copa, separada em folhas, ramos, flores e frutos
- Raízes, separadas em raiz principal, raízes grossas e raízes finas

Dependendo da importância na espécie em causa ou para o estudo, a biomassa da copa pode ser avaliada em conjunto ou separando os ramos das restantes componentes.

As relações desenvolvidas por este centro para o eucalipto quando a profundidade da copa não está disponível são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Equações para a estimativa da biomassa total ( $w$ ) e por componentes ( $ww$ ,  $wb$ ,  $wl$ ,  $wbr$ ) em eucalipto (com  $d$  e  $h$ ) quando a profundidade da copa não está disponível. Adaptado de (Publicações GIMREF, 2007a).

Componente Equação	Estimativas dos parâmetros
Lenho $ww = kw \cdot d^{aw} \cdot h^{bw}$	$kw = 0,0100$ $aw = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 10,710 & \frac{hdom}{-0,7091 + 0,6279 \cdot hdom} \\ \text{se } hdom > 10,710 & 1,7804 \end{cases}$ $bw = 1,3696$
Casca $wb = kb \cdot d^{ab} \cdot h^{bb}$	$kb = 0,0006$ $ab = \begin{cases} \text{se } hdom \leq 18,269 & \frac{hdom}{-0,6995 + 0,4586 \cdot hdom} \\ \text{se } hdom > 18,269 & 2,3795 \end{cases}$ $bb = 1,0850$
Folhas $wl = kl \cdot d^{al} \cdot h^{bl}$	$kl = 0,2490$ $al = 1,2640$ $bl = -0,7121$
Ramos $wbr = kbr \cdot d^{abr} \cdot h^{bbr}$	$kbr = 0,0956$ $abr = 1,6746$ $bbr = -0,8507$
Biomassa total aérea $w = ww + wb + wl + wbr$	

### 3.3.Importância do Teor de Humidade

Também o Teor de Humidade é um parâmetro de elevada importância quando se trata da caracterização de espécies florestais, dado que o conteúdo em humidade de um dado material orgânico é muito variável.

Para a biomassa, os fatores externos assumem uma elevada importância neste parâmetro, nomeadamente a espécie vegetal, condições físicas do material (tamanho e forma), época e local de corte, e condições de armazenamento.

Na Tabela 4 apresentam-se alguns valores típicos de teores de humidade. É de notar que, a biomassa lenhosa quando seca ao ar pode atingir valores da ordem dos 20%, sendo esta uma redução significativa.

Tabela 4 - Valores típicos de teores de humidade.

<b>Material</b>	<b>Teor de Humidade [%]</b>
Plantas verdes	80
Madeira cortada	50 – 100
Biomassa lenhosa fresca	40 – 60

Este parâmetro afeta diretamente o poder calorífico do material, uma vez que quanto maior for o conteúdo em água mais difícil e demorado é o processo de extração de energia, e portanto, menor será o seu rendimento.

Analogamente, quanto maior a quantidade de água presente no material, maior será a sua densidade. Ao nível da BFR, verifica-se a existência de uma situação pouco satisfatória tanto para os produtores da biomassa, como para as centrais recetoras, uma vez que se o material for transportado com um baixo teor de humidade (e nas condições actuais de reduzido destroçamento), e conseqüentemente com baixa densidade, menor será a carga transportada o que resulta em maiores custos de transporte, dado que para transportar a mesma carga serão necessárias várias viagens. Portanto, para os produtores, material mais denso é mais rentável (o que se obtém através da sua humedificação).

No entanto, para as centrais, e tal como foi referido anteriormente, teores de humidade muito elevados são prejudiciais ao processo, sendo necessário um gasto adicional numa pré-secagem. Cumulativamente, a biomassa é paga ao peso, pelo que, se apresentar um elevado conteúdo em água, o preço não traduz fielmente a capacidade energética do material.

### ***3.3.1. Técnicas para Medição da Humidade***

#### ***3.3.1.1. Método Gravimétrico***

O método gravimétrico ou clássico consiste na determinação do conteúdo em água da biomassa através da pesagem de uma amostra antes e após secagem, em condições previamente definidas e controladas.

Para este estudo foi adaptada a Norma Técnica CEN/TS 14774-1:2004, do Comité Europeu para a Normalização (European Committee for Standardization, 2004), estando o procedimento utilizado descrito em pormenor no capítulo da metodologia (4.2.3.2).

#### ***3.3.1.2. Equipamentos de Medição (sensores)***

Para algumas tipologias de material é possível determinar o teor de humidade através da utilização de equipamentos de medição desenvolvidos para o efeito, como é o caso dos sensores de humidade para material em fardo.

Um exemplo deste tipo de sensores é o Medidor Digital de Humidade em Fardos de Feno e Palha - *Protimeter Balemaster GRN6160*, desenvolvido pela General Motors (GE). Este equipamento faz a leitura da humidade através da introdução de uma sonda no fardo, sendo o

valor exibido no ecrã do sensor, e está calibrado para palha de trigo, com leituras numa gama de 8% a 36,8% de teor de humidade (G.E., 2006).

### **3.4.A Densidade da BFR**

A *densidade* é uma medida da quantidade de matéria sólida existente num metro cúbico de madeira e reflete portanto a porosidade da madeira. É uma variável que, na matéria-prima para a pasta de papel, afeta os custos de corte e transporte da madeira. A densidade da madeira varia com a idade desde valores médios de 450 kg.m<sup>-3</sup> aos 2 anos, até valores superiores a 600 kg.m<sup>-3</sup> para árvores com mais de 15 anos, um aumento que ronda os 8 a 10 kg.m<sup>-3</sup>.ano<sup>-1</sup>. O efeito da idade deve portanto ser tomado em conta quando se compara material de diferentes locais.

A constatação de que o rendimento e a densidade da madeira são, a par com o crescimento, variáveis chave no melhoramento do eucalipto, contrasta com a relativa pobreza de dados disponíveis para a sua seleção. A principal razão para este facto tem sido a dificuldade em medir a qualidade da madeira de modo expedito e não destrutivo.

## **3.5. Conteúdo em Energia e Valorização**

### **3.5.1. Formas de Valorização da BFR**

A utilização de biomassa florestal residual para fins energéticos sofreu um impulso nos últimos anos. Várias são as tecnologias disponíveis, onde o objetivo final é a produção de calor, eletricidade e/ou combustíveis. Os principais processos de conversão deste recurso podem ser divididos de acordo com a tecnologia do processo associado, tendo-se a conversão termoquímica e a decomposição bioquímica.

O primeiro é aplicável a materiais herbáceos de baixo teor de humidade, tais como, vegetação rasteira, resíduos da exploração agrícola e resíduos da indústria madeireira, e inclui quatro processos: combustão, pirólise, gaseificação e liquefação. A decomposição bioquímica é adequada para plantas herbáceas com elevado teor de humidade, como é o caso dos vegetais, cana-de-açúcar e culturas marinhas, englobando a digestão e a fermentação, que dão origem ao biogás e ao etanol, respetivamente (Ferreira et al., 2009).

Estes processos são seleccionados, não só de acordo com o tipo, quantidade e teor de humidade do material, mas principalmente atendendo à forma final desejada de energia, os fatores específicos da instalação a utilizar e as políticas governamentais em vigor são também fatores a considerar.

Em Portugal o processo mais amplamente distribuído é a *combustão*. Esta permite converter a energia química armazenada na biomassa em energia calorífica, mecânica ou eléctrica, através de diversos equipamentos especializados, tais como fornos, fornalhas, caldeiras, turbinas e turbogeradores. Este processo origina gases a elevadas temperaturas (800 – 1000°C), sendo possível queimar qualquer tipo de biomassa. No entanto, para otimizar o processo, é recomendável que o material apresente um teor de humidade inferior a 50%.

A combustão de biomassa divide-se de acordo com a escala a que ocorre o processo. Tipicamente, uma pequena escala é doméstica, onde o objetivo último é o aquecimento doméstico ou confeção de alimentos. A este nível, o controlo de quantidades consumidas é particularmente difícil uma vez que não há registos desta informação e, em muitos casos, a biomassa é pertencente a terrenos próprios. É a esta escala que as perdas de calor por transferência assumem percentagens maiores, entre os 30 e 90%; contudo, o desenvolvimento de novas tecnologias permitiu a criação de novos e melhores equipamentos, que não só obtêm eficiências a rondar os 70-90%, como já integram uma limpeza catalítica de gases, ou seja, as emissões gasosas (nomeadamente ao nível de partículas) são muito baixas.

A grande escala, encontram-se sobretudo as centrais industriais, com caldeiras e fornalhas, onde o objetivo é a produção de calor ou vapor para posterior produção de energia eléctrica. Estas indústrias podem ser dedicadas, ou seja, queimar apenas biomassa florestal, ou recorrer ao processo de co-combustão, geralmente com carvão, tendo uma capacidade na gama dos 100 aos 3000MW, podendo-se obter eficiências de conversão na ordem dos 20-40% (Ferreira et al., 2009).

## **3.6. Logística e Cadeia de Fornecimento**

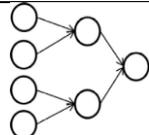
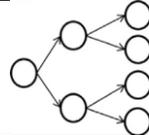
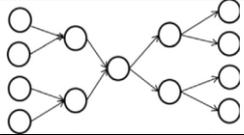
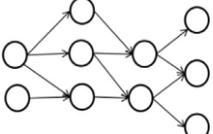
### **3.6.1. Cadeia de Fornecimento**

Uma cadeia de fornecimento consiste na descrição do movimento do material entre a sua fonte e o utilizador final, estando tipicamente presentes quatro entidades principais: fornecedor, indústria transformadora, centro de distribuição e cliente final. Assim, a gestão desta cadeia foca-se na integração de todas as entidades, para que o produto final cumpra as exigências de qualidade, quantidade, distribuição temporal e espacial, visando sempre a minimização dos custos globais do sistema. Esta será tão mais eficiente quanto maior for o grau de coordenação e integração entre as diversas entidades. Portanto, a estrutura de uma qualquer cadeia de fornecimento apresenta, não só as relações entre as entidades responsáveis pelo fornecimento de produtos ou serviços, como organiza em simultâneo as ligações na estrutura para que sejam representativas do fluxo de informação e material (Sharma, Ingalls, Jones, & Khanchi, 2013).

Esta estrutura pode assumir quatro tipologias distintas, denominadas convergente, divergente, combinado ou em rede, estando apresentadas na Tabela 5.

De acordo com o descrito anteriormente, uma cadeia de fornecimento de biomassa será então o conjunto dos vários processos distintos, desde a sua recolha até à chegada à instalação de conversão.

Tabela 5 - Tipologias de estrutura de uma cadeia de fornecimento. Adaptado de (Sharma et al., 2013)

Denominação	Descrição	Exemplo
Convergente	Cada nó da cadeia tem pelo menos um sucessor mas vários predecessores.	
Divergente	Cada nó da cadeia tem um predecessor e vários sucessores.	
Combinado	Combinação da estrutura convergente e divergente, seguindo uma ordem específica, e obtendo uma única estrutura interconectada.	
Em Rede	Estrutura que não é convergente, divergente ou combinada.	

Tipicamente, para a biomassa florestal, a cadeia de fornecimento é esquematizada de acordo com a Figura 7. Tal como se pode observar, este é um sistema complexo, que pode ser subdividido em dois processos fundamentais, interdependentes e interligados: processos de planeamento e controlo da produção e processos de logística e distribuição. Os primeiros incluem o planeamento do sistema e das operações a efetuar, recolha, pré-processamento e acondicionamento da biomassa para as fases seguintes (geralmente transporte). Os segundos dizem respeito ao armazenamento, transporte e transbordo da biomassa (Sharma et al., 2013).

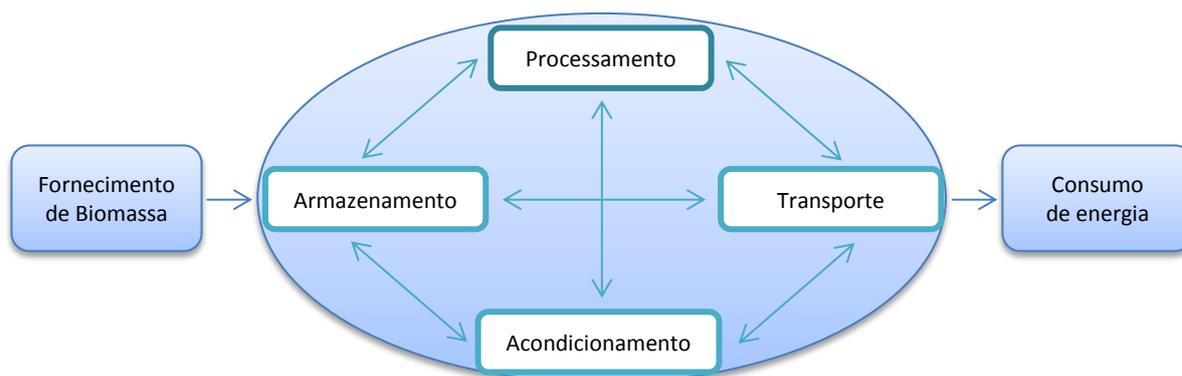


Figura 7 – Esquema típico de uma cadeia de fornecimento de biomassa. Adaptado de Sharma et al., (2013).

A cadeia de fornecimento de biomassa florestal pode assumir qualquer uma das estruturas definidas na Tabela 5, à exceção da divergente, dado que esta opção não garante o cumprimento das necessidades de alimentação das instalações de conversão energética.

No entanto, esta cadeia é afetada de diversos fatores de incerteza, que influenciam a eficiência e configuração do sistema. Estes fatores centram-se particularmente ao nível de: continuidade do fornecimento de biomassa, clima, propriedades da biomassa (em especial o conteúdo em humidade), custo da biomassa, tecnologia de conversão, planos de expansão (do sistema e da unidade recetora), flutuações na procura, preço do produto final (energia ou biocombustível), mudanças nos incentivos governamentais, política e regulamentos, e desastres naturais ou originados por mão humana (ex.: incêndios) (Sharma et al., 2013).

### ***3.6.2. Logística de Transporte em Portugal***

A exploração da biomassa está dependente de vários fatores, sendo os principais relativos à geografia e orografia do terreno (nomeadamente o declive), a distância a percorrer em cada etapa de transporte, os equipamentos e veículos disponíveis, e as características intrínsecas da biomassa, ao nível da sua dimensão, quantidade e teor de humidade. Todos estes fatores condicionam o modo de atuação, tendo-se desenvolvido 3 métodos típicos.

Um primeiro método conta apenas com as operações de transporte, intermédio e final, sendo a BFR transportada inteira após o desrame. Dado que engloba apenas duas operações, este é o método mais direto, e atendendo a que pode utilizar os mesmos equipamentos e veículos usados na exploração madeireira, consegue-se uma diminuição de custos fixos. No entanto, como a biomassa não é triturada e apresenta baixa densidade, apenas são transportadas pequenas quantidades em cada viagem, resultando num possível aumento do número de viagens.

No segundo método estão presentes todas as operações, iniciando-se com a chegada, também de biomassa inteira como no caso anterior. O processamento é efetuado em carregadouro, por diminuição do tamanho do material, ou seja, trituração ou destroçamento do mesmo. Este processo pode ser efetuado por facas (mais adequado para produtos homogéneos) ou por martelos (mais eficaz para produtos heterogéneos, como é o caso dos resíduos florestais). Contudo, este é um método que envolve um elevado número de operações, com custos associados.

O último método envolve também as três operações, mas inicia-se com o processamento da biomassa ainda na zona de abate; este pode ser efetuado por destroçamento ou enfardamento do material. Em situações em que é efetuado o enfardamento é possível utilizar para chegada os mesmos equipamentos que são utilizados para a madeira, tendo-se assim benefícios económicos. A chegada é efetuada para um parque local, e posteriormente é realizado o transporte para o destino final da BFR. Todavia, este é um método pouco utilizado em Portugal, o que se poderá dever ao elevado investimento inicial necessário em equipamentos de processamento. Porém, a elevada capacidade de produção e o reduzido número de operações, podem traduzir-se numa rentabilização deste investimento a longo prazo.

As infraestruturas florestais, não sendo diretamente produtivas, desempenham igualmente um papel fundamental no correto desenvolvimento da atividade. Fazem parte deste conjunto as estradas, caminhos florestais, rede divisional, pontos de água, obras de correção torrencial e construções de apoio.

Neste âmbito, o Código de Boas Práticas define também objetivos para a gestão florestal sustentável, tais como o estabelecimento de um conjunto de infraestruturas de suporte à instalação, condução, exploração e proteção das matas (sendo necessário assegurar que as mesmas se adequam aos fins para que foram planeadas e se integram de um modo economicamente viável no plano de gestão da área florestal); e a certificação de que as mesmas se integram na paisagem, não originando perdas de solo ou má drenagem, e não sendo responsáveis pela destruição das áreas sensíveis envolventes. Para tal, torna-se necessário atender às características do local considerado (ao nível da topografia, geologia, rede hidrográfica, clima e sensibilidade do solo à erosão); proceder a um levantamento e dimensionamento das necessidades sentidas, bem como da disponibilidade local ou regional dos materiais para construção; e garantir a estabilidade das infraestruturas, quer as já existentes, quer as que irão ser desenvolvidas. Contudo, não é possível ignorar os impactes associados, sendo de destacar a alteração da qualidade da água e do regime hídrico; a monitorização das questões ligadas ao solo, tanto controlo da erosão, como perda de solo com capacidade produtiva; a estabilização de taludes; as alterações na diversidade biológica; e uma maior acessibilidade da área florestal (Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ, 2004).

Este documento normativo faz ainda referência às questões do transporte e da logística, definindo como objetivos de gestão a manutenção do volume e qualidade dos produtos durante o transporte, assegurando a sua correta entrega; a procura da melhor solução do ponto de vista financeiro, efetuando o transporte ao mais baixo custo possível; e a minimização da poluição associada a esta operação, bem como, os danos na rede viária. Assim, é necessário considerar a existência de constrangimentos legais e restrições locais (como por exemplo, a densidade e qualidade da rede viária); avaliar as características das redes viárias florestal e pública; conhecer previamente o tipo de material a transportar e o tipo de transporte disponível; resultando todos estes fatores numa adequada planificação das operações a desenvolver. Nesta ótica, é necessário ter presente os principais impactos da operação de transporte, ou seja, danificação dos produtos transportados; poluição provocada pelos veículos utilizados, bem como, pelo manuseamento de combustíveis e óleos; deterioração das infraestruturas e incremento dos riscos na via pública por excesso de carga; e disseminação de pragas e doenças (Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ, 2004).

### ***3.6.3. Outros Sistemas Logísticos de Transporte***

Vários têm sido os estudos efetuados nos últimos anos para desenvolver e otimizar os sistemas logísticos de transporte de biomassa florestal, especificamente para unidades de conversão energética.

Em 2012, Judd, Sarin, & Cundiff, propuseram um sistema que inclui locais de armazenamento temporário da biomassa fora do perímetro florestal, designados de instalações-satélite de armazenamento. Estes armazéns estariam localizados num raio pré-definido da central de conversão energética (13, 32 e 48km), e onde todos os produtores abrangidos depositariam a sua produção, independentemente da sua tipologia (grandes ou pequenos produtores), tal como foi sugerido por Cundiff, Grisso, & Ravula (2004). Esta metodologia visa minimizar os problemas

associados ao transporte da BFR, que possui uma baixa densidade, o que se traduz na necessidade de múltiplas viagens entre o local de produção/recolha da biomassa e a unidade de receção. Desta forma, os autores procuraram, não só diminuir os custos do sistema, mas também garantir a continuidade do fluxo de alimentação na central.

O conceito das instalações-satélite de armazenamento foi desenvolvido para possibilitar uma menor distância de viagem entre o produtor e a unidade de conversão. De um ponto de vista económico, estes armazéns devem estar localizados de forma a permitir um equilíbrio entre os seus custos de implementação e manutenção, o custo de transporte da biomassa desde os campos de produção até estas instalações, e os custos de carga da biomassa nestas instalações para transporte final para a central.

Tipicamente o transporte floresta-central é realizado pelo produtor, sem qualquer tipo de pré-processamento da biomassa. No entanto, com a introdução deste passo intermédio no transporte, apenas a distância entre o campo de produção/recolha da biomassa e a instalação-satélite seria percorrida pelo produtor; o restante percurso seria da responsabilidade da central. Cumulativamente, prevê-se a existência nas instalações-satélite de maquinaria para densificar a biomassa, e assim, permitir o transporte de uma maior quantidade, reduzindo o número de viagens, e consequentemente, os custos associados.

Foram estudados vários sistemas e equipamentos, dando especial relevância à sua alocação permanente nas instalações-satélite ou, pelo contrário, a possibilidade de mobilidade destes, com a sua deslocação entre as diversas instalações, de acordo com as necessidades. A opção que pressupõe a mobilidade dos equipamentos de densificação entre as instalações-satélite apresentou melhores resultados aquando da avaliação final.

## 4. Metodologia

### 4.1. Apresentação dos Estudos de Caso

#### 4.1.1. Estudo de Caso 1 – Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR

O objetivo principal da presente dissertação fixou-se no controlo da humidade da biomassa florestal residual (BFR) de eucalipto, tendo-se aproveitado, para tal, o abate de duas parcelas contíguas, realizado por um madeireiro.

Após início do trabalho de campo, verificou-se a necessidade de monitorizar a secagem da BFR nos primeiros dias imediatamente após abate, pelo que se procedeu igualmente ao abate controlado de um único eucalipto, numa parcela próxima das abatidas.

Em simultâneo, fez-se o acompanhamento do processo de abate de povoamentos desta espécie, situados na mesma mancha florestal que as parcelas abatidas.

Assim, foi seleccionada uma área de estudo na localidade do Roxico, compreendida na mancha florestal existente na União de Freguesias de Canelas e Fermelã, concelho de Estarreja, distrito de Aveiro (Figura 8).

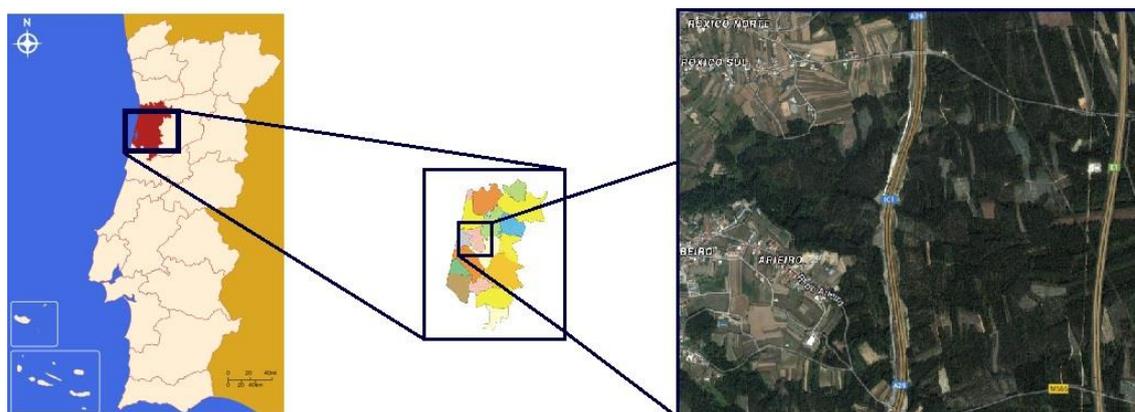


Figura 8 - Localização da área de estudo.

A grande proximidade do local seleccionado com a central bioelétrica da indústria de celulose de Cacia (Portucel - Cacia), e a existência de bons acessos entre o campo e a central, aliadas à forte atividade de abate verificada no ano de 2014, tornam esta uma zona de especial interesse para conduzir estudos como o presente.

#### 4.1.2. Estudo de Caso 2 – Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica

Com vista à caracterização das condições da biomassa florestal residual à chegada a uma central termoelétrica dedicada, foi obtida a colaboração da Central de Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A.

Localizada na freguesia de Carregosa, concelho de Oliveira de Azeméis, esta central possui uma capacidade instalada de 10,4 MW (Portal das Energias Renováveis), e está licenciada para a produção e comercialização de energia elétrica e térmica; gestão, manutenção e exploração de centrais de produção de energia; e cogeração e tratamento de resíduos florestais e recursos endógenos renováveis (Racius).

Esta central recebe vários tipos de biomassa, na sua maioria de exploração florestal, procedendo à sua queima para produção de energia elétrica, apresentando-se, na Tabela 6, as categorias segundo as quais o material recebido é identificado. Para a presente análise é pertinente a categoria *BEF – espécie 26*, uma vez que se refere apenas a resíduos de exploração florestal; no entanto, serão também analisados alguns dados relativos a *Bicadas Bruto*, uma vez que o material assim classificado apenas distingue de *BEF – espécie 26* no estado físico em que se encontra, não sendo sujeito a trituração.

Tabela 6 - Descrição das categorias de identificação da biomassa recebida na central termoelétrica.

Categoria	Descrição
Rolária Bruto Diversa	Todas as espécies exceto Pinho
Rolária Bruto Pinho	Pinho
BEF - Espécie 26	Biomassa de exploração florestal - Essencialmente casca e bicadas/ramos/copas das árvores de eucalipto, triturado
BL - Espécie 27	Biomassa Lenhosa – Ramos e copas das árvores onde se possa encontrar madeira até 50%, triturado
BL - Espécie 30	Biomassa Lenhosa – Ramos e copas das árvores onde se possa encontrar madeira de 50%-90%, triturado
Estilha	Rolária triturada com facas – aproximadamente 100% lenho/madeira
Bicadas Bruto	Biomassa de exploração florestal - Ramos e copas de árvores de eucalipto, não triturado

O objetivo desta colaboração consistia então no acompanhamento das condições de chegada da BFR, nomeadamente ao nível de cargas (massa e volume), proveniência, tipo e estado do material, com foco especial no teor de humidade.

## **4.2. EC1 – Metodologia Aplicada no Estudo do Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR**

O acompanhamento e monitorização do processo de secagem da BFR, quer para uma parcela recém-abatida, quer para um único eucalipto, teve por objetivo a determinação da curva de secagem associada, e foi executado numa primeira fase em campo, seguida de secagem em laboratório, segundo condições mais controladas.

Neste processo efectuou-se a determinação da densidade de ramos e bicadas de eucalipto, por meio de um processo de cubicagem e através de um ensaio de compressão, procurando assim caracterizar as condições da biomassa florestal residual não triturada, aquando do transporte para as centrais de produção de energia (caso de *Bicadas Bruto*).

Adicionalmente, e atendendo à forte atividade de abate observada na zona em estudo, fez-se o acompanhamento desta operação em várias parcelas, permitindo assim observar a distribuição das áreas de abate e a fração em que a BFR foi removida após o abate.

Desta forma, o presente capítulo encontra-se dividido em 6 subcapítulos, abrangendo a totalidade dos procedimentos efetuados, e descrevendo a metodologia aplicada a cada um.

### ***4.2.1. Caracterização Física da Pilha de Biomassa Construída pelo Madeireiro***

As parcelas abatidas (referência AM3, identificada na Figura 25, apresentada no ponto 5.1.5) são, como já se disse, contíguas, e foram objeto de abate em simultâneo, tendo a biomassa florestal residual (constituída apenas por ramos e bicadas) sido deixada pelo madeireiro numa única pilha num extremo junto ao caminho florestal.

A pilha de biomassa apresentava um formato aproximado a um paralelepípedo, com base retangular e topo plano. Contudo, devido à heterogeneidade do material que a compunha, não tinha uma forma compacta, conseguindo-se num dado ponto, efetuar uma medição quase vertical da sua altura máxima. Assim, e tentando compensar a não linearidade da pilha, foram medidas as suas principais dimensões (comprimento e largura da base e altura máxima), com recurso a uma fita métrica e estacas de delimitação da área da base, para melhor a caracterizar e quantificar o material alocado.

Pela sua dimensão, não foi possível determinar uma estimativa direta da quantidade de biomassa, tendo-se procedido à construção, igualmente em campo, de uma pilha mais pequena, com dimensões definidas (4x2x1m), doravante designada *sub-pilha*. Toda a biomassa utilizada na construção desta sub-pilha foi pesada e identificada de acordo com a sua tipologia (ramos, bicadas, mato), procedendo-se à caracterização das dimensões e determinação da densidade do material. Contudo, devido à pequena altura da pilha e não tendo sido possível aplicar uma força externa para compactação, o valor de densidade determinado corresponde ao do material inteiro e não compactado.

De seguida, foram efetuadas leituras do teor de humidade em vários pontos das duas pilhas, utilizando um sensor calibrado para determinar a humidade em fardos de palha.

Por último, foi recolhida uma amostra de biomassa inteira, para a qual foi determinado o teor de humidade, de acordo com a respetiva Norma Técnica Europeia.

#### ***4.2.2. Caracterização Física da Biomassa Resultante do Abate de um Eucalipto***

O espécimen de eucalipto seleccionado encontrava-se num terreno próximo das parcelas abatidas (referência AB10, identificada na Figura 25, apresentada no ponto 5.1.5), tendo sido escolhido de acordo com os critérios de representatividade das condições de abate, isto é, uma árvore adulta, com diâmetro ao nível do peito entre 20 e 30 cm, e altura representativa do povoamento no qual se insere.

O abate foi efetuado com recurso a uma motosserra, tendo-se procedido de imediato à desrama e determinação das dimensões características, do peso e do número total de ramos. A BFR resultante foi empilhada num local com condições semelhantes às do local de abate, tendo-se efetuado uma recolha imediata de amostra. Esta amostra foi igualmente submetida ao processo de determinação do teor em humidade adaptado da Norma Técnica Europeia.

#### ***4.2.3. Métodos para a Determinação da Humidade da BFR***

Para os diversos ensaios procedeu-se à recolha de amostras, tanto inteiras como trituradas, tendo todas sido sujeitas ao mesmo processo de secagem em laboratório, sob condições controladas.

##### ***4.2.3.1. Processo de Secagem ao Ar, em Pilha no Campo***

A biomassa resultante dos vários processos de abate foi deixada em campo, em pilha, a secar ao ar e sujeita às condições climáticas, desde o abate até ao momento de amostragem.

##### ***4.2.3.2. Processo de Secagem no Laboratório***

A metodologia de secagem em estufa foi adaptada da Norma Técnica CEN/TS 14774-1:2004, do Comité Europeu de Normalização (European Committee for Standardization, 2004).

O procedimento iniciou-se com um primeiro passo de secagem ao ar, efetuada dentro do laboratório, à sombra e em local bem arejado, durante duas semanas consecutivas, tendo-se efetuado uma pesagem no final de cada semana.

Após este período, as amostras inteiras foram divididas nas suas duas frações (folhas e ramos), sendo levada de seguida à estufa uma porção de cada fração, de acordo com a referida norma técnica. Já as amostras trituradas foram homogeneizadas, tendo-lhes igualmente sido retirada uma porção para secagem em estufa. Por forma a melhor identificar os resultados de cada processo de secagem, foi desenvolvida uma notação identificativa, a saber:

Tratamento I – secagem em dois passos da amostra inteira (i.e., secagem ao ar seguida de secagem em estufa);

Tratamento T – secagem em dois passos da amostra triturada (i.e., secagem ao ar seguida de secagem em estufa);

Tratamento TD – biomassa triturada, seca num único passo (secagem direta na estufa).

A determinação do teor de humidade em estufa, adaptada da Norma Técnica, estipula o seguinte material e procedimento:

### 1.Material

Tesoura de poda;

Moinho de martelos;

Estufa com capacidade de controlar a temperatura de  $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e que permita a renovação de ar 3 a 5 vezes por hora;

Balanças com sensibilidade de 1g a 0,0001g;

Tabuleiros de alumínio;

Exsicador.

### 2.Procedimento

#### 2.1 Secagem ao ar

Deixar secar ao ar, à sombra, durante 2 semanas, procedendo à pesagem no final de cada semana.

Pesar com precisão até 1g.

#### 2.2 Secagem em estufa a $105^{\circ}\text{C}$

Cortar com a tesoura de poda a planta inteira, separando as folhas e os ramos, de modo a ficar com porções não superiores a 3 cm de comprimento (aproximadamente).

Colocar cerca de 300g de cada fração em tabuleiros de alumínio e pesar com exatidão até 0,01g.

Levar as amostras a descoberto à estufa, durante 60 minutos, findos os quais, proceder à pesagem.

Levar novamente à estufa durante períodos de 60 minutos até se obter uma massa constante (variação inferior a 0,2%).

### 3.Cálculos

Teor em humidade em base tal e qual (btq), expresso em percentagem de massa:

$$HP_{ar} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (\text{Equação 1})$$

$$HP_{estufa} = \frac{m'_2 - m'_3}{m'_2(btq)} \quad (\text{Equação 2})$$

com,

$$m'_2(btq) = \frac{m'_2}{1 - HP_{ar}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$H_{total}[\%] = HP_{ar} [\%] + HP_{estufa} [\%] \quad (\text{Equação 4})$$

E para as amostras inteiras, que foram separadas em ramos e folhas, a equação fica:

$$H_{total} = HP_{ar} + \left( \frac{\% \text{ folhas amostra}}{100} \times HP_{folhas,estufa} + \frac{100 - \% \text{ folhas amostra}}{100} \times HP_{ramos,estufa} \right) \quad (\text{Equação 5})$$

onde,

$m_1$  – massa total da amostra tal e qual [g]

$m_2$  – massa total da amostra seca ao ar [g]

$m'_2$  – fração da massa seca ao ar que vai à estufa [g]

$m'_2(btq)$  – conversão para base tal e qual da fração da massa seca ao ar que vai à estufa [g]

$m'_3$  – fração da massa após secagem em estufa [g]

$HP_{ar}$  – fração da humidade perdida na secagem ao ar [%]

$HP_{estufa}$  – fração da humidade perdida na secagem em estufa [%]

$H_{total}$  – humidade total da amostra [%]

$HP_{folhas, estufa}$  – fração da humidade perdida na secagem em estufa relativa somente às folhas [%]

$HP_{ramos, estufa}$  – fração da humidade perdida na secagem em estufa relativa somente aos ramos [%]

#### **4.2.3.3. Medição com Sensor**

As medições de teor de humidade com recurso ao sensor foram efetuadas para duas situações distintas: medição da humidade na pilha de biomassa deixada no terreno pelo madeireiro, e medição da humidade das amostras trituradas, provenientes quer da pilha de biomassa construída pelo madeireiro, quer da biomassa resultante do abate de um único eucalipto. A maioria das amostras foi recolhida com duas réplicas, uma inteira e outra que sofreu trituração num triturador doméstico de navalhas (*HomeLife*).

O equipamento usado nas medições foi um sensor calibrado para fardos de palha, o Medidor Digital de Humidade *Protimeter Balemaster GRN6160*, constituído por uma sonda de aço inoxidável, forte e durável, com 600mm de comprimento, e intervalo de medição de 8% a 36,8% (G.E., 2006).

O objetivo destas leituras era averiguar a eficácia deste aparelho na avaliação da humidade de biomassa florestal residual, permitindo a adaptação no futuro ao exercício desta função.

As medições efetuadas para as amostras trituradas foram realizadas com e sem compressão da amostra, resultando numa gama de valores de humidade. A compressão foi efetuada por aplicação de uma pequena força ao saco contendo a amostra (compressão manual), permitindo diminuir os espaços vazios existentes entre o sensor e a amostra. As amostras foram posteriormente submetidas a um processo de secagem imediata em estufa, para determinação do teor de humidade pelo método gravimétrico, tendo-se denominado este tratamento num único passo como tratamento TD.

#### **4.2.4. Acompanhamento do Processo de Secagem ao Ar ao Longo do Tempo**

##### **4.2.4.1. Primeiras Duas Semanas Após Abate**

O ensaio de abate de um único eucalipto foi efetuado para permitir um acompanhamento e monitorização mais pormenorizado do processo de secagem desde o momento de abate, uma vez que se verificou que os primeiros dias são o período mais significativo deste processo de secagem.

Assim, foram efetuadas diversas recolhas, com réplicas inteiras e trituradas, com intervalos de tempo crescentes entre amostragens consecutivas, até aos primeiros 14 dias após abate, o que permitiu traçar as curvas de secagem associadas aos tipos de tratamento efetuado (I, T e TD).

A pilha construída com a biomassa deste eucalipto não foi deixada em campo, de forma idêntica à pilha construída pelo madeireiro; pela sua dimensão e conveniência de trabalho, esta pilha foi levada para um local próximo da parcela de origem, e com condições climatéricas semelhantes às do local de abate. Porém, atendendo ao menor tempo de amostragem definido para este ensaio, e à distância entre o local de colocação da pilha e os laboratórios do Departamento de Ambiente e Ordenamento (DAO) (onde o restante processo de secagem foi

efetuado), entendeu-se trazer para o referido departamento uma quantidade significativa de biomassa, sendo empilhada na cobertura do edifício, exposta ao sol, ao vento e à precipitação, tendo sido daqui retiradas várias amostras.

O processo de tratamento das amostras após recolha foi o descrito na secção anterior (4.2.3.2).

#### **4.2.4.2. Os Dois Meses Iniciais de Secagem**

A biomassa proveniente do abate pelo madeireiro esteve sujeita a uma frequência de amostragem mais espaçada que a sua congénere procedente de um único eucalipto.

Numa primeira fase, foi efetuada uma amostragem semanal, até 16 dias após o abate. A ocorrência de um longo período de precipitação invalidou a recolha de amostra na terceira semana de secagem, tendo-se aumentado o intervalo entre amostragens consecutivas, com a quarta amostra a ser recolhida 4 semanas após abate.

Dadas as condições observadas em campo durante esta amostragem, e confirmadas pelos resultados laboratoriais, decidiu-se suspender a recolha de nova amostra até ao momento de retirada da BFR de campo pelo madeireiro (estando esta cláusula incluída no contrato de venda do lenho). Desta forma, a quinta e última amostragem ocorreu cerca de 2 meses após o abate do povoamento.

Todas as amostras recolhidas foram tratadas de acordo com os procedimentos já mencionados no subcapítulo 4.2.3.2.

#### **4.2.4.3. Oito Meses Após Abate**

A mancha florestal onde se enquadram as parcelas em estudo foi sujeita a operações de abate também no ano de 2013.

Um dos terrenos abatidos em agosto desse ano (referência AM1) apresentava-se com biomassa espalhada pelo campo, não empilhada, e sem intervenção humana desde o abate. Desta forma, a BFR aqui acumulada esteve sujeita a processos de secagem ao ar sem qualquer interferência externa, apenas sob as condições climatéricas sentidas nesse ano.

Assim, tomou-se este material como referência para as condições de biomassa seca, e efetuou-se uma amostragem, apenas com recolha de biomassa inteira. Esta amostra foi de seguida sujeita ao processo de secagem adaptado da Norma Europeia, seguindo o mesmo método aplicado às outras amostras (4.2.3.2).

#### **4.2.5. Determinação da Densidade da BFR na Pilha**

Para a pilha construída pelo madeireiro na parcela AM3, foram medidas a área da base e a altura, com o objetivo de determinar o seu volume. A densidade da biomassa nesta pilha foi estimada atendendo à sua variação com a compressão, partindo da densidade do material sem compressão (à superfície) e da densidade do material com compressão correspondente ao peso de uma pilha com cerca de cinco metros de altura (condição na base da pilha).

##### **4.2.5.1. Pilha no Campo Sem Compressão**

Tal como referido no ponto 4.2.1, a densidade da biomassa não compactada foi determinada através da construção de uma sub-pilha. Esta foi delimitada com o auxílio de estacas, criando uma base retangular com quatro metros de comprimento e dois metros de largura, tendo-se limitado a altura a um metro para facilitar a colocação da biomassa e melhor corresponder às características da pilha original. Contudo, as condições de campo não permitiram o empilhamento da rama por forma a preencher todo o volume, tendo-se assumido que o volume real ocupado foi de 7 m<sup>3</sup>. Todos os resíduos usados na construção da sub-pilha foram retirados da pilha construída pelo madeireiro e previamente pesados.

Com os dados de volume e massa utilizada na construção da sub-pilha foi possível, então, determinar a densidade destes resíduos de abate.

##### **4.2.5.2. Pilha Com Compressão**

A pilha de biomassa construída pelo madeireiro foi deixada num dos extremos do terreno aquando da sua limpeza. No entanto, e por observação das parcelas, assumiu-se que a limpeza terá sido efetuada com recurso a maquinaria, uma vez que se verificou a permanência no terreno de quantidades significativas de biomassa – principalmente junto aos limites e em zonas onde o declive é levemente acentuado. Tornou-se assim interessante quantificar a biomassa deixada no terreno, tendo-se efetuado a sua recolha manual num área delimitada. Esta operação permitiu determinar a densidade da biomassa resultante do abate, quando sujeita a uma força de compressão (simulando as condições na base da pilha construída pelo madeireiro), em simultâneo com uma aproximação às condições do transporte final entre a floresta e as centrais termoelétricas recetoras de BFR, para material não triturado.

Desta forma, procedeu-se à recolha manual da BFR existente numa área de 15x16m, delimitada junto ao limite superior de uma das parcelas contíguas. A seleção desta zona deveu-se à aparente escolha da mesma como área preferencial de processamento, conseguindo-se perceber uma direcionalidade na biomassa espalhada e acumulada no terreno.

Posteriormente, este material foi deixado a secar em pilha num local com características semelhantes àquelas em que se encontrava a pilha deixada pelo madeireiro, durante 2 semanas, tendo sido por fim pesado (e determinada a respetiva humidade) e utilizado no ensaio de compressão à escala.

### **Ensaio de Compressão**

Os objetivos deste ensaio são a compressão da biomassa inteira para simular as condições na base da pilha construída pelo madeireiro e o transporte final em semirreboque, apresentando-se na Tabela 7 as dimensões típicas de um semirreboque usado neste tipo de transporte, juntamente com as dimensões da caixa construída para a realização do ensaio. A referida caixa é apresentada na Figura 9.

*Tabela 7 - Dimensões típicas de um semirreboque e da caixa usada no ensaio de compressão.*

<b>Dimensões</b>	<b>Semirreboque</b>	<b>Caixa do Ensaio</b>
Altura [m]	2,80	0,94
Largura [m]	2,30	0,56
Comprimento [m]	12,0	2,50
Volume [m <sup>3</sup> ]	77,3	1,30

O ensaio de compressão foi efetuado duas semanas após a recolha da biomassa, portanto, com um total de quatro semanas de secagem (duas semanas espalhada em campo seguidas de outras duas empilhada ao ar). No entanto, na última semana de secagem em pilha, verificou-se um período de forte precipitação, tendo a biomassa readquirido alguma da humidade externa já perdida.

Para melhor simular as condições de transporte, assumiu-se que a biomassa deveria, de forma análoga à caixa, apresentar um certa relação de escala. Assim, amostraram-se ramos cujo comprimento rondasse os dois metros ( $\pm 0,2m$ ), tendo-se para isso cortado os ramos de dimensões muito superiores, e dobrado (quando necessário) os ramos de dimensões aproximadas ao definido. A biomassa foi pesada e colocada dentro da caixa, no sentido longitudinal, assumindo portanto, uma elevada organização do material. Esta opção pode resultar num erro de carga (permitindo uma carga superior), porém, atendendo às dimensões de escala a que se trabalhou, optou-se por este tipo de carga para melhor aproximar às condições do transporte real.

Foram efetuadas cargas e compressões sucessivas, sempre respeitando a altura máxima da caixa, e medindo a variação de altura resultante da aplicação de um peso definido na parte superior da mesma. Este procedimento foi repetido até se verificar que a compressão efetuada não se traduzia numa variação significativa da altura final da biomassa dentro da caixa.



*Figura 9 - Caixa utilizada no ensaio de compressão.*

#### ***4.2.6. Acompanhamento do Processo de Abate de Eucaliptos na Área em Estudo***

Como complemento à monitorização do processo de secagem da biomassa de eucalipto, foi também monitorizada a área de estudo, por forma a acompanhar um período da época de abate da BFR. Pretendia-se determinar a percentagem de área abatida (no total sob vigilância), recolhendo informação relativa às condições da biomassa e dos terrenos após abate.

Para tal, foram percorridos diversos caminhos florestais, assinalando num mapa as parcelas abatidas (identificando-as e localizando-as geograficamente), e procedendo ao registo de informação relevante (existência ou não de recolha de biomassa, estado em que a biomassa se encontrava, e estado do terreno), ficando cada uma das parcelas assinaladas devidamente documentada por fotografia.

Tendo-se verificado que nas parcelas onde houve limpeza do terreno a recolha nem sempre era total, definiu-se uma nomenclatura de identificação do estado da recolha:

Recolha completa – a biomassa foi completamente retirada do terreno, existindo apenas uma quantidade marginal de rama espalhada;

Recolha parcial – a biomassa foi recolhida apenas de forma parcial, verificando-se ainda a existência de uma quantidade apreciável de rama no terreno, podendo estar espalhada ou empilhada em pequenas frações dispersas pela parcela;

Sem recolha – a biomassa não foi recolhida, estando espalhada ou agrupada em pequenas pilhas dispersas pelo terreno.

A informação resultante desta recolha foi posteriormente tratada com recurso a duas ferramentas informáticas, o *MS Excel* e o *Google Earth*. A primeira permitiu fazer um tratamento matemático dos dados, tendo-se determinado a área total observada, área total com recolha completa de biomassa, área total com recolha parcial de biomassa e área total sem recolha de biomassa, e representado graficamente esta informação. Com a segunda ferramenta, sendo um instrumento de informação geográfica, foi possível proceder à representação georreferenciada das parcelas observadas.

### **4.3.EC2 – Metodologia de Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica**

A colaboração desenvolvida com a Central de Biomassa de Terras de Santa Maria S.A. pretendia monitorar as condições da BFR à chegada à central, principalmente ao nível de cargas, local de proveniência, tipo e estado da biomassa e teor de humidade. Neste sentido, foi cedida informação, relativa ao ano de 2013, que foi trabalhada recorrendo à ferramenta informática *MS Excel*.

#### **4.3.1. Valores Globais Médios de Biomassa Recebida para o Ano de 2013**

Foram cedidos dados globais relativos ao ano de 2013, que agrupavam num único valor as médias mensais de peso líquido de toda a biomassa recebida na central, teor de humidade e densidade da biomassa. Estes dados resultam da média de todas as categorias de material recebido na central, tendo sido avaliados de forma gráfica.

#### **4.3.2. Distâncias entre Locais de Origem da Biomassa e a Central para o Ano de 2013**

A informação global fornecida incluía também uma listagem dos locais de proveniência da biomassa recebida na central, discriminados por categoria de material, e com dados relativos ao peso líquido total recebido de cada local e densidade associada. Foram assim seleccionadas apenas as categorias relativas a resíduos de exploração florestal, isto é, *BEF – espécie 26* (referida somente como *BEF 26*) e *Bicadas Bruto*, fazendo-se uma análise semelhante para ambas.

Numa primeira fase foi necessário filtrar os dados para excluir origens cuja localização fosse ambígua ou impossível, assim como agrupar numa única entrada todos os dados relativos a um mesmo ponto de origem mas cuja identificação estivesse multiplicada por erros de notação. De seguida, foi determinado para todos os locais o volume correspondente ao peso líquido de biomassa recebida usando, para tal, os respetivos valores de densidade.

Logo depois, procedeu-se à identificação territorial dos locais de proveniência (distrito, concelho e freguesia) recorrendo à base de dados dos CTT, disponível na sua página de internet (CTT, 2015) e utilizando a ferramenta de informação geográfica *Google Earth*; ainda através desta foi estimada a distância entre o local e a central.

Com o conhecimento do peso líquido médio de uma carga, estimado a partir da informação referente aos principais locais de origem de biomassa (metodologia apresentada no capítulo 4.3.3 e análise efetuada em **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), foi determinado o número de cargas necessárias para transportar toda a biomassa recebida na central, dividindo-se o peso líquido de cada local pelo peso líquido médio de uma carga. Esta informação traduz o número de viagens necessárias para efetuar o transporte da totalidade da massa, sendo fundamental para estimar os quilómetros totais percorridos, obtidos por multiplicação do número de cargas pela distância percorrida em uma viagem entre o local de origem e a central. Para este cálculo foram apenas consideradas as viagens de ida.

Por fim, foi estimada a distância média percorrida para transportar uma carga de biomassa desde a origem até à central, calculando o quociente entre o somatório das distâncias percorridas para cada local e o somatório do número de cargas.

### **4.3.3. Análise dos Principais Locais Abastecedores de Biomassa para a Categoria BEF – Espécie 26**

Foi pedido à central que seleccionasse os locais de maior importância relativamente à quantidade fornecida de BEF 26, de acordo com os seus critérios internos, vindo os pesos líquidos de biomassa recebida associados apenas a uma carga individual. A informação recebida continha igualmente indicação de humidade, densidade e volume associados a estas cargas.

Numa primeira fase, foram removidos os dados incompletos e determinados os valores médios, máximos e mínimos das variáveis fornecidas, bem como o número total de cargas recebidas de cada local. De seguida, foi calculado o peso líquido em base seca (bs) para cada carga recebida através da expressão:

$$P. \text{líq. (bs)} = P. \text{líq. (btq)} \times (1 - H) \quad (\text{Equação 6})$$

onde,

P.líq. (bs) – peso líquido, expresso na base seca

P.líq. (btq) – peso líquido, expresso na base tal e qual

H – humidade da biomassa, expressa em valor decimal (btq)

Esta conversão de bases permitiu separar o efeito da humidade na quantidade de biomassa transportada, admitindo que a densidade aparente resulta do quociente entre a soma da massa de biomassa seca e da humidade pelo volume do veículo de transporte, e uma vez que este volume é fixo, considera-se que o quociente da massa de biomassa seca pelo volume de transporte é constante e pode ser estimado pela determinação do peso líquido médio de uma carga. Desta forma, apenas a humidade é variável nesta relação.

Depois de calculado o peso líquido em base seca para todas as cargas recebidas, foi determinado o valor médio desta variável para uma carga. E a partir desta informação foi proposto um modelo para a carga total transportada, em função da humidade, admitindo que a carga média, em base seca, corresponde ao valor médio observado (Equação 7). Admitiu-se igualmente que o volume da partícula de biomassa não varia com a humidade.

$$P. \text{líq. teórico (btq)} = \frac{\overline{P. \text{líq. (bs)}}}{(1 - H)} \quad (\text{Equação 7})$$

## 5. Resultados

### 5.1. EC1 – Acompanhamento do Processo de Abate e Secagem em Campo de BFR

A amostragem das parcelas onde houve abate decorreu entre 30 abril e 31 julho de 2014, apresentando-se na Figura 10 os dados relativos à precipitação diária e temperatura média diária neste período temporal. Observa-se a ausência de alguns dados relativos à temperatura média, devidos a falhas de leitura do equipamento; no entanto, esta carência não afeta significativamente a análise dos dados amostrais.

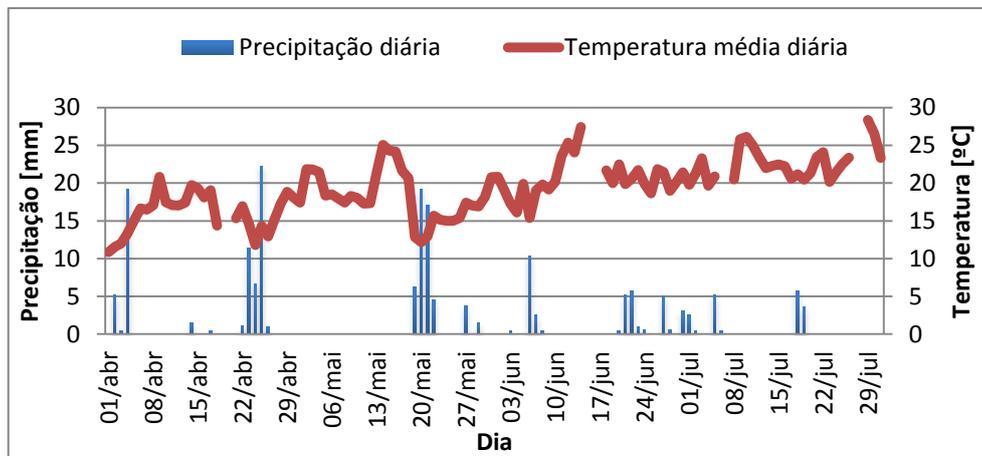


Figura 10 - Valores diários de precipitação e temperatura média durante o período de amostragem.

#### 5.1.1. Caracterização Física da Pilha de Biomassa Construída pelo Madeireiro

Tal como mencionado no capítulo da metodologia (4.2.1), a parcela abatida de onde resulta a BFR aqui em estudo está referenciada como AM3 e é composta por duas parcelas contíguas, com uma área total aproximada de 2100m<sup>2</sup>. O abate foi efetuado em 28 de abril de 2014, tendo o terreno sido limpo mecanicamente e a biomassa empilhada num dos extremos do terreno. Após esta operação foram contabilizados 341 cepos deixados no local; contudo, verificou-se que alguns cepos teriam sido removidos durante a limpeza, sendo portanto este valor uma estimativa do total de eucaliptos existentes nesta plantação.

A pilha construída pelo madeireiro apresentava um formato aproximado a um paralelepípedo, tendo-se determinado as dimensões médias da base, com comprimento e largura de 6,2m, e altura média de 3,5m, ocupando um volume total aproximado de 135m<sup>3</sup>. Devido às suas dimensões, não foi possível determinar diretamente a quantidade de BFR acumulada, pelo que se procedeu à construção de uma *sub-pilha*, com volume definido e pesagem de toda a biomassa colocada. O procedimento e resultados deste ensaio são apresentados nos pontos 4.2.5.1 e 5.1.4.1, respetivamente, tendo-se estimado um valor de densidade média destes resíduos de 71,83 kg.m<sup>-3</sup> (para uma humidade de 82%).

Na Figura 11 apresenta-se uma imagem da pilha construída pelo madeireiro num extremo do terreno, junto da qual se pode observar a sub-pilha mencionada.



Figura 11 - Fotografia da pilha construída pelo madeireiro e da sub-pilha utilizada para determinação da densidade da biomassa.

### **5.1.2. Caracterização Física da Biomassa Resultante do Abate de um Eucalipto**

O eucalipto abatido encontrava-se numa parcela com cerca de 1700m<sup>2</sup>, de referência AB10, e que se caracteriza por possuir um declive acentuado no sentido NW; foi nesta vertente que se procedeu ao abate, a 23 de Junho de 2014, tendo o eucalipto deslizado até ao vale.

Após desrame foi contabilizado o número de ramos, procedido da sua pesagem, e determinadas as dimensões características da árvore, estando esta informação apresentada na Tabela 8. A biomassa foi de seguida empilhada num local com condições semelhantes às do local de abate, sendo observáveis na Figura 12 a pilha de biomassa construída e o respetivo lenho desramado.



Figura 12 - Pormenor do eucalipto após abate. a) Lenho. b) Ramos e bicadas.

Tabela 8 - Grandezas medidas para o eucalipto abatido.

Grandeza	Valor
Altura [m]	21
Diâmetro cepo [cm]	30
Perímetro DAP [cm]	71
Diâmetro DAP [cm]	22,6
Número ramos + bicada [-]	20
Peso bicada molhada [kg]	14,7
Peso ramos molhados [kg]	74,2
Peso total molhado [kg]	88,9
Humidade média (bs) [%]	115
Peso seco [kg]	41,4

A partir das grandezas medidas em campo foi possível determinar algumas variáveis dendrométricas apresentadas na Tabela 2, por correspondência ou cálculo direto, ou através da respetiva relação alométrica. Sendo o objeto do estudo, a variável estimada foi a biomassa aérea total ( $w$ ), de acordo com as equações apresentadas na Tabela 3. Porém, foi necessário introduzir uma condição: atendendo a que apenas foram medidas as dimensões do eucalipto abatido, considerou-se que a altura determinada e a altura dominante do povoamento em que se insere ( $h_{dom}$ ) seriam iguais. De igual forma, e resultado do tipo de preparação efetuada e do foco da presente dissertação, esta estimativa foi determinada apenas para a biomassa de ramos e folhas, apresentando-se os resultados obtidos na Tabela 9. Verificou-se que a divisão entre ramos com folhas e lenho com casca feita na prática do madeireiro é muito diferente da usada na obtenção das relações alométricas.

Tabela 9 - Variáveis dendrométricas determinadas para o eucalipto abatido.

Variável		Valor
Diâmetro DAP [cm]	$d$	22,6
Altura Total [m]	$h$	21
Área Basal [ $m^2$ ]	$g$	0,04
Volume Total [ $m^3$ ]	$v$	0,84
Biomassa ramos e folhas	$wl+wbr$	1,42

### 5.1.3. Análise dos Processos de Secagem

#### 5.1.3.1. Primeiras Duas Semanas Após Abate

A biomassa proveniente do abate de um único eucalipto foi monitorizada durante os primeiros 14 dias de secagem, tendo as amostras recolhidas sido sujeitas aos tratamentos:

Tratamento I - biomassa inteira, seca em dois passos (secagem ao ar, seguida de secagem em estufa);

Tratamento T - biomassa triturada, seca em dois passos (secagem ao ar, seguida de secagem em estufa);

Tratamento TD – biomassa triturada, seca num único passo (secagem direta na estufa).

As Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12 apresentam os dados amostrais relativos aos três tratamentos efetuados, vindo os resultados em base seca. A Humidade ao Ar apresentada nas tabelas é relativa ao passo intermédio de secagem ao ar da BFR, como estipula o método adotado, e realizou-se já nas instalações dos laboratórios do DAO, após recolha da amostra, ou seja, traduz apenas a perda de humidade que o material sofreu desde a recolha e a pesagem final antes de ser levado à estufa.

Importa referir que a primeira amostra apresentada (AM9) não corresponde ao dia do abate, pois durante esta operação iniciou-se um período de chuva intensa que durou ainda algumas horas, tendo a biomassa ficado sobressaturada. Desta forma, optou-se por determinar o tempo de secagem efetiva, considerando que esta se iniciou no dia seguinte ao abate (consideração feita de acordo com as condições climatéricas observadas). Procurou-se também que ao longo da amostragem as recolhas consecutivas tivessem um intervalo de amostragem crescente para melhor observar a curva de secagem deste material.

Tabela 10 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento I.

Data da Recolha	Tempo secagem efetiva [d]	$\Delta t$ entre amostras consecutivas [h]	Amostra	% folhas (seco ar)	Humidade Perdida (bs) [%]			Humidade Total (bs) [%]
					Ar	Estufa		
					Folhas	Ramos		
24/jun	0	0	AM9 i	40,1	95,6	9,18	24,0	114
26/jun	2	41	AM10 i	52,6	66,1	7,94	19,3	79,5
28/jun	4	52	AM12 i	38,7	37,8	9,58	23,3	55,9
01/jul	7	66	AM13 i	39,1	22,9	10,0	26,2	42,8
08/jul	14	173	AM14 i	44,0	14,5	11,0	22,8	32,1

Tabela 11 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento T.

Data da Recolha	Tempo secagem efetiva [d]	$\Delta t$ entre amostras consecutivas [h]	Amostra	Humidade Perdida (bs) [%]		Humidade Total (bs) [%]
				Ar	Estufa	
24/jun	0	0	AM9 T	98,0	10,1	108
26/jun	2	41	AM10 T	59,1	11,1	70,2
28/jun	4	52	AM12 T	48,3	10,3	58,5
01/jul	7	66	AM13 T	30,6	12,4	43,0
08/jul	14	173	AM14 T	17,1	11,9	29,0

Tabela 12 - Dados relativos à secagem da biomassa de um único eucalipto, referidos à base seca - Tratamento TD.

Data da Recolha	Tempo secagem efetiva [d]	$\Delta t$ entre amostras consecutivas [h]	Amostra	Humidade - Sensor de Palha		Humidade Total (bs) [%]
				Sem compressão [%]	Com compressão [%]	
24/jun	0	0	AM9 T	30	> 36	108,9
26/jun	2	41	AM10 T	24	32	73,1
28/jun	4	52	AM12 T	18	22	57,8
01/jul	7	66	AM13 T	19	22	41,9
08/jul	14	173	AM14 T	13	16	29,4

A representação gráfica dos resultados obtidos, relativos à base seca, apresenta-se nas Figura 13a) e b), onde são observáveis as contribuições das várias fases de secagem para o valor total da humidade, estando representada a azul a humidade perdida na primeira semana de secagem ao ar, a vermelho a contribuição da segunda semana de secagem ao ar, e a verde a restante humidade perdida na secagem em estufa, perfazendo o total de humidade das amostras recolhidas. Verifica-se, nesta figura, que, para o processo de secagem em dois passos, a primeira semana de secagem ao ar tem maior impacto na perda de humidade da biomassa, com uma percentagem de humidade perdida muito elevada, ao passo que a contribuição da segunda semana de secagem é pouco significativa, principalmente para a réplica triturada.

A Figura 14 permite observar também que a humidade total determinada não varia significativamente entre os diferentes procedimentos efetuados. Porém, uma observação mais cuidada revela que, para a maioria das amostras, a humidade da réplica inteira é superior à humidade da triturada, e esta é quase idêntica à réplica triturada que foi submetida a secagem imediata na estufa (tratamento TD). Este comportamento pode ser explicado por uma pequena perda de humidade na operação de trituração, que não foi possível controlar. Assim, as réplicas que secaram inteiras conservaram um pouco mais de humidade que as suas congéneres trituradas. Ainda nesta figura, apresentam-se os períodos de precipitação (em milímetros) registados durante a amostragem deste ensaio, e não obstante a existência de alguns picos, verifica-se que não se revelam significativos para os valores totais de humidade

Em suma, verifica-se que no momento do abate, o eucalipto em estudo teria um teor de humidade, em base seca, superior a 100%, tendo, ao fim de 14 dias, este valor ficado reduzido

a cerca de 30%, o que significa que em base tal e qual, no momento do abate cerca de metade do peso líquido do eucalipto era na realidade água, e após a monitorização do processo de secagem, este constituinte atingiu um peso percentual aproximado de 24%.

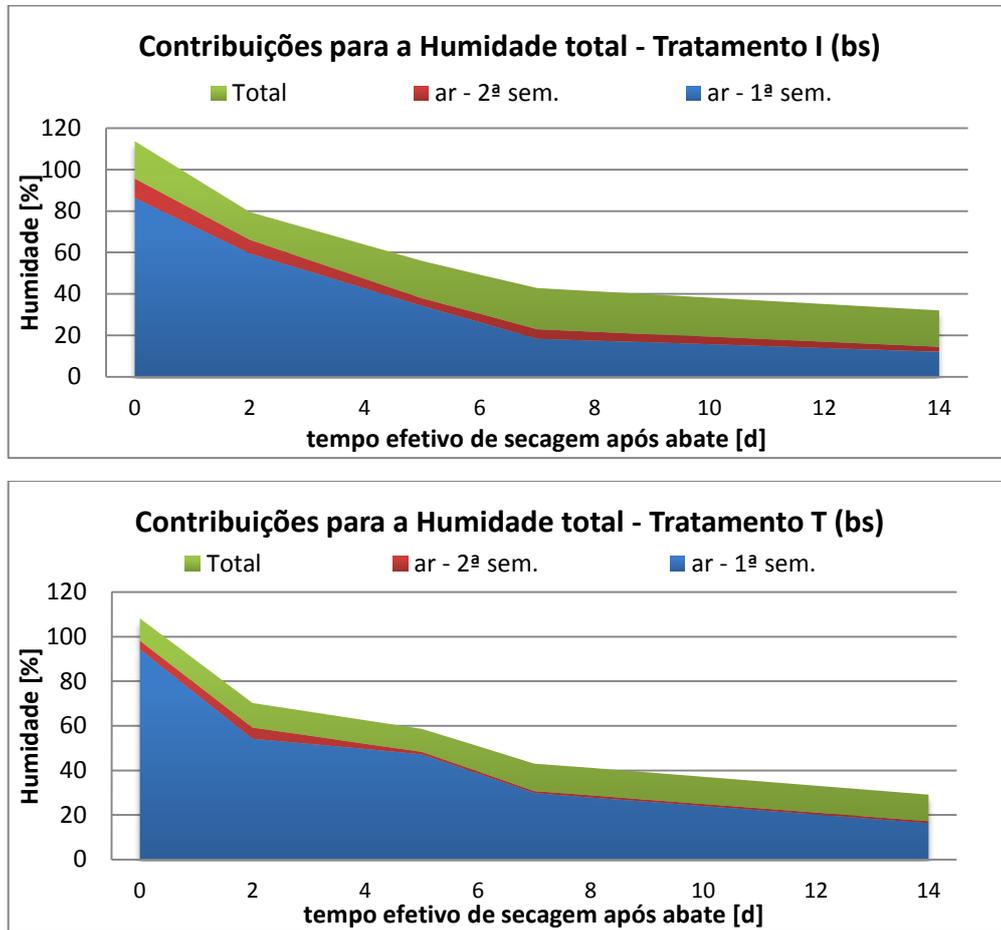


Figura 13 - a) e b) Contribuições das várias fases de secagem para a humidade total, para os tratamentos I e T, em base seca.

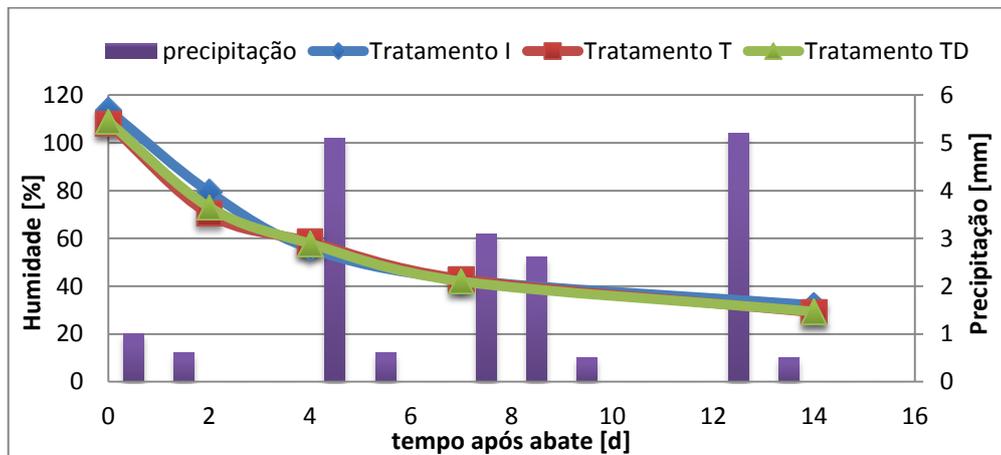


Figura 14 - Humidade total (em base seca) determinada para os diferentes tratamentos e influência da precipitação no período de amostragem.

No entanto, quando se analisa a influência do processo de trituração na humidade perdida apenas na secagem ao ar em laboratório, ou seja, comparando os resultados obtidos ao fim de duas semanas de secagem ao ar para os tratamentos I e T, verifica-se que a humidade perdida é mais elevada para as amostras trituradas (Figura 15), comportamento já esperado, uma vez que a taxa de secagem da amostra está relacionada com a área exposta ao ar, que para as amostras trituradas é superior. Excetua-se desta análise o segundo ponto (AM10), onde a amostra inteira apresenta um maior valor de humidade que a triturada. Tal como anteriormente, esta situação pode dever-se a erros de amostragem e/ou tratamento, ou ainda, a condições de secagem não passíveis de controlo.

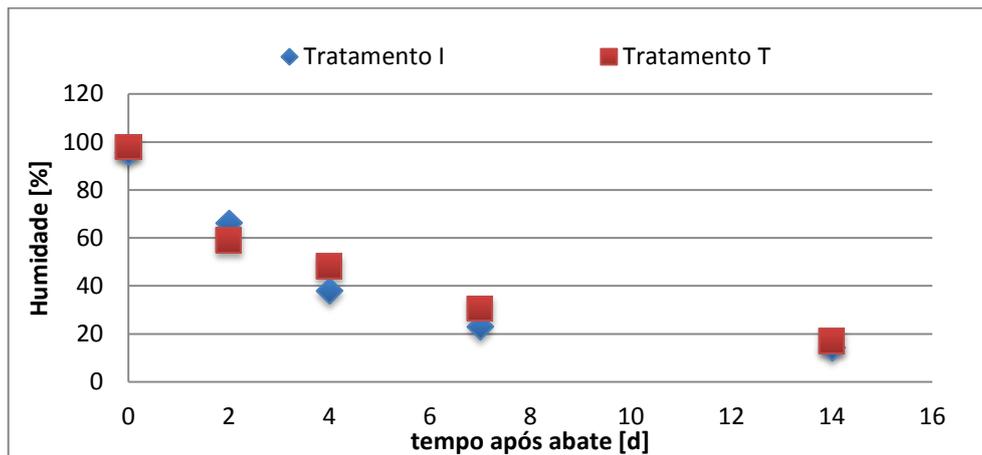


Figura 15 - Humidade perdida ao fim de duas semanas de secagem ao ar no laboratório para os tratamentos I e T, referida à base seca.

Ainda desta figura, verifica-se que a humidade perdida ao ar varia na gama dos 100% aos 15% (base seca). Este é um valor intermédio do processo de secagem efetuado; contudo revela a importância da secagem ao ar para este tipo de material, uma vez que se verifica que este passo permite a evaporação de uma grande parte do conteúdo em água.

#### 5.1.3.1.1. **Comparação com Leituras do Sensor de Humidade**

Tal como explicado no subcapítulo 4.2.3.3 (Metodologia), a trituração das amostras resultantes do abate de um único eucalipto permitiu também a medição do seu teor de humidade com um sensor calibrado para fardos de palha, tendo a respetiva leitura sido realizada com e sem compressão manual da amostra, o que resultou numa gama de valores de humidade. As amostras foram posteriormente submetidas ao tratamento num único passo, com secagem imediata em estufa (tratamento TD), estando os resultados apresentados graficamente na Figura 16. De notar que o sensor realiza a medição da humidade do material nas condições em que este se encontra, ou seja, os dados apresentados referem-se à base tal e qual. Para facilitar a leitura e comparação de resultados, os dados relativos à secagem imediata em estufa são igualmente apresentados nesta base.

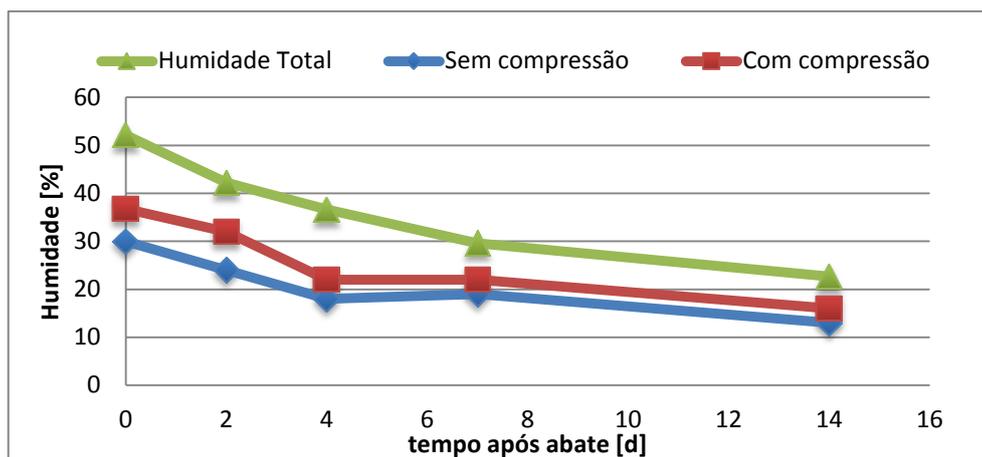


Figura 16 - Dados de Humidade Total lidos pelo sensor e determinados no tratamento TD, em base tal e qual.

Pela análise da referida figura, verifica-se que a humidade determinada para as várias amostras é sempre superior à gama medida pelo sensor, sendo esta discrepância maior quanto mais húmida for a amostra. Não obstante, as curvas de secagem obtidas das leituras do sensor mostram-se coerentes com os valores determinados experimentalmente.

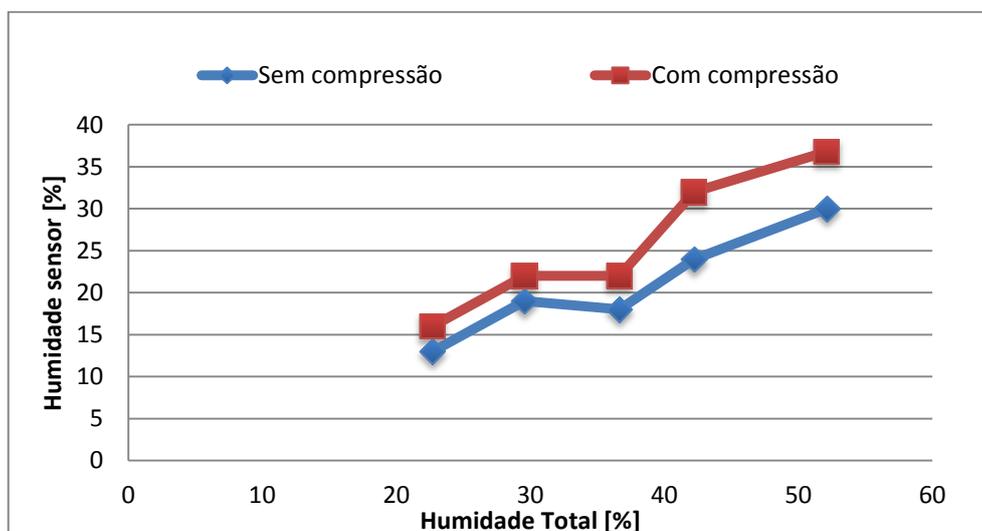


Figura 17 - Avaliação das leituras de humidade do sensor face à humidade total determinada, em base tal e qual.

Tal como mencionado no subcapítulo 4.2.3.3, este equipamento foi igualmente utilizado na medição da humidade da pilha de biomassa construída pelo madeireiro. Contudo, os resultados obtidos foram considerados inválidos e desprezados devido ao mau ajustamento apresentado pelos dados anteriormente analisados na Figura 16.

### 5.1.3.2. Os Dois Meses Iniciais de Secagem

A biomassa resultante das operações de abate levadas a cabo por um madeireiro, que foi deixada empilhada em campo, foi monitorizada num intervalo temporal de 71 dias. As amostras foram recolhidas inteiras, e secas de acordo com o Tratamento I, isto é, num processo de secagem em dois passos com secagem ao ar durante duas semanas, seguida de secagem em estufa durante algumas horas, de acordo com os procedimentos metodológicos já descritos (4.2.3.2).

Na Tabela 13 apresentam-se os dados obtidos para o referido processo de secagem ao ar, relativos à base seca, sendo a sua representação gráfica apresentada na Figura 18. Importa referir que a primeira amostra foi recolhida dois dias após o abate, enquanto a última, data da altura em que a biomassa foi recolhida e transportada pelo madeireiro para o seu destino final.

As diferenças entre as frações de humidade perdida nas várias etapas do processo mostram que a maior variação ocorre nos primeiros 16 dias após abate, isto é, após duas semanas de secagem ao ar em pilha a humidade é reduzida para cerca de 22% do valor inicial, sendo esta avaliação feita em base seca. Verifica-se também que a segunda semana de secagem ao ar tem um peso muito pequeno no somatório das contribuições da humidade (Figura 18). Observa-se ainda que a segunda amostra recolhida (AM4) apresenta valores mínimos nas frações relativas às duas semanas de secagem ao ar. Contudo, estes valores não se refletem na avaliação da humidade total, pelo que se assume a existência de um erro nestes resultados.

Note-se que durante este período ocorreram episódios de precipitação, sobretudo a partir da segunda semana de secagem ao ar (Figura 19) que, não tendo sido de grande intensidade, permitem explicar as oscilações da humidade em torno de um valor médio, observando-se que a curva de secagem já se encontra numa fase de equilíbrio. Obteve-se então uma redução da humidade da pilha de aproximadamente 80% (bs) relativamente às condições iniciais, o que se traduz num teor de humidade final aproximado de 34%, em base tal e qual.

Tabela 13 - Dados relativos à secagem da biomassa da pilha construída pelo madeireiro, referidos à base seca.

Data de recolha	Tempo após abate [d]	Amostra	% folhas (seco ar)	Humidade Perdida (bs) [%]					Humidade Total (bs) [%]
				Ar 1 <sup>ª</sup> sem.	Ar 2 <sup>ª</sup> sem.	Estufa			
						Folhas	Ramos	Média	
30/abr	2	AM3	42,0	54,1	61,2	18,4	21,8	20,4	81,6
06/mai	7	AM4	34,7	2,23	4,57	8,08	33,3	24,6	29,1
15/mai	16	AM5/s	31,0	5,01	5,49	9,60	13,6	12,4	17,9
31/mai	32	AM6	27,0	4,53	8,35	6,06	11,4	10,0	18,3
08/jul	71	AM15	32,0	5,80	5,80	9,77	14,2	12,8	18,6

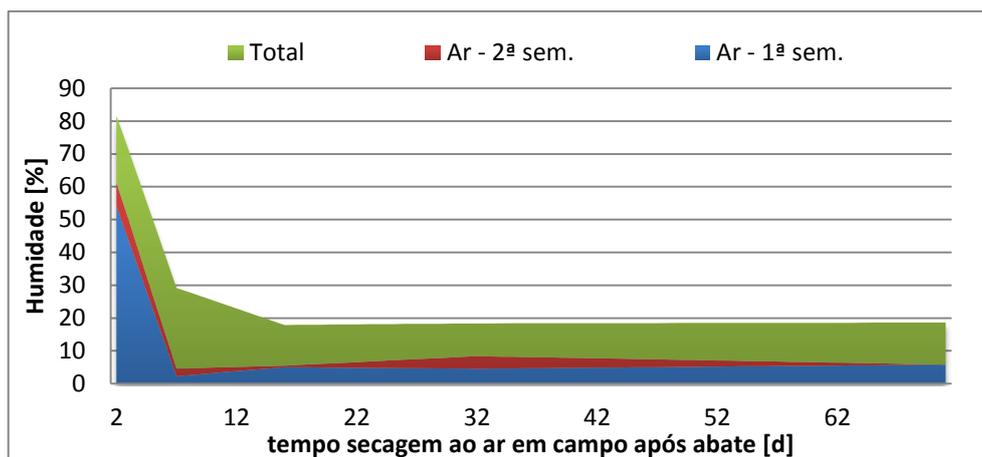


Figura 18 - Contribuições das várias fases de secagem para a humidade total, relativas à base seca.

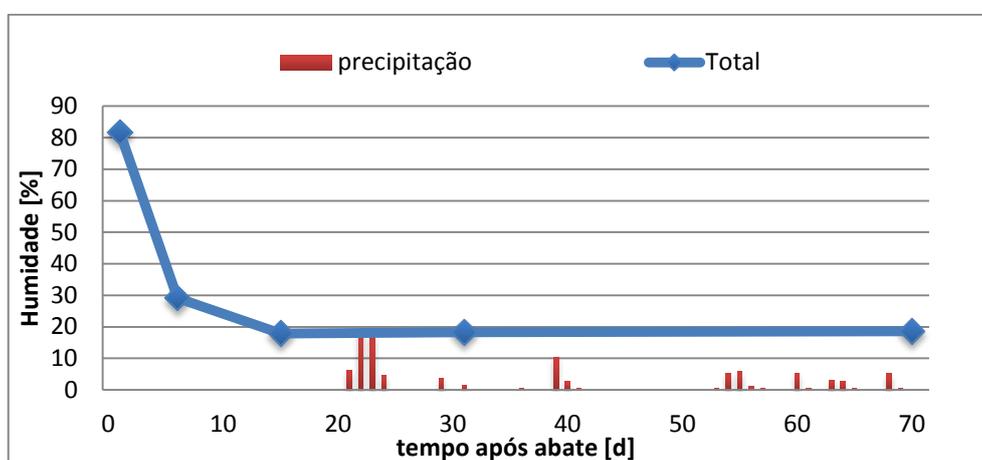


Figura 19 - Influência da precipitação no período de amostragem.

Esta estabilização do valor total de humidade observada indica que se atingiu o ponto de equilíbrio entre a humidade da BFR e a humidade da atmosfera no interior da pilha, a chamada Humidade Equilíbrio na pilha. Calculou-se o seu valor médio e desvio-padrão associado (Tabela 14) tendo-se obtido um valor para a Humidade Equilíbrio analisada de 18,3% numa gama que pode variar entre os 17,9 e os 18,6% (base seca).

Tabela 14 - Média e Desvio Padrão da Humidade Equilíbrio na Pilha (base seca).

Média	Desvio Padrão
18,3	0,37

Da análise anterior resulta a possibilidade de ajustamento de um modelo de secagem aos dados experimentais relativos às duas primeiras semanas de secagem.

Partindo da expressão que traduz a variação de humidade da biomassa na pilha ao longo do tempo (Equação 8), obtém-se a equação de ajustamento aos pontos de secagem, bem como as grandezas que traduzem os seus parâmetros.

$$H = H_0 \times e^{-kt} \quad (\text{Equação 8})$$

$$H - H_e = (H_0 - H_e) \times e^{-kt} \quad (\text{Equação 9})$$

$$\ln(H - H_e) = \ln(H_0 - H_e) - kt \quad (\text{Equação 10})$$

E portanto, a curva de secagem da biomassa será do tipo:

$$\ln(H - H_e) = a + b \times t \quad (\text{Equação 11})$$

onde,

H – humidade no instante t [%]

H<sub>0</sub> – humidade inicial [%]

H<sub>e</sub> – humidade equilíbrio na pilha [%]

k – constante de variação diária [d<sup>-1</sup>]

A adaptação da reta de regressão linear que melhor se ajusta aos dados permite determinar a respetiva equação de regressão, bem como os parâmetros das constantes do referido modelo (Tabela 15).

Desta forma, substituindo as constantes determinadas na equação de ajustamento aos pontos de secagem, e aplicando ao período de amostragem, é possível obter uma representação gráfica do modelo de ajustamento desenvolvido (Figura 20).

*Tabela 15 - Constantes determinadas para o modelo proposto.*

<b>k</b>	-0,219
<b>H<sub>0</sub></b>	90,7 %
<b>H<sub>e</sub></b>	18,3 %

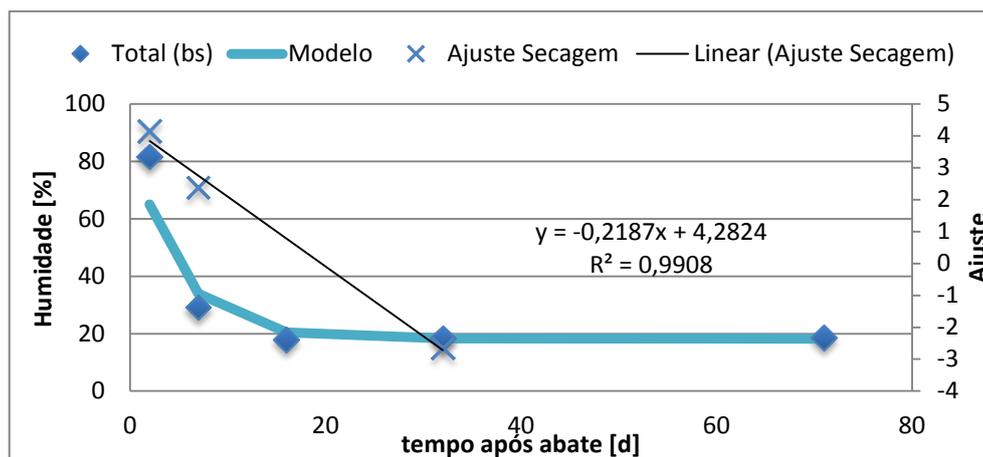


Figura 20 - Representação gráfica dos dados das duas primeiras semanas de secagem, ajustamento e equação de regressão aplicada, e modelo de ajustamento desenvolvido.

Observa-se pela Figura 20 que o modelo desenvolvido tem um bom ajustamento aos dados amostrais, tendo-se estimado, para uma Humidade Equilíbrio de 18,3%, um teor de humidade inicial ( $H_0$ ) de 90,7% em base seca.

### 5.1.3.3. Oito Meses Após Abate

Tal como descrito no subcapítulo da metodologia (4.2.4.3), a existência de uma parcela abatida em Agosto de 2013 e sem interferência externa na mancha florestal em observação possibilitou o estudo das condições da biomassa já seca, sem variações significativas do seu teor de humidade. Esta parcela foi também considerada para o estudo do processo de abate de eucaliptos (ver subcapítulos 4.2.6 e 5.1.5), tendo sido referenciada como AM1.

A amostra desta parcela foi recolhida no dia 11 de Abril, tendo a biomassa estado 240 dias a secar ao ar em campo (equivalente a 32 semanas), e contrariamente às restantes, o processo de secagem após recolha implicou apenas uma semana de secagem ao ar, no laboratório, seguida da secagem em estufa, tendo este procedimento seguido a adaptação da Norma Técnica Europeia (apresentada no subcapítulo 4.2.3.2) tal como as restantes amostras. Deste processo resultou uma humidade perdida na secagem ao ar em laboratório de 3,4%, e um teor de humidade total de 31%, ambos em base seca.

Esta amostra assume interesse quando confrontada com os restantes dados amostrais, pelo que a sua análise será feita apenas graficamente, apresentando-se na Figura 21 todos os dados relativos a esta amostra (AM1), ao acompanhamento das primeiras duas semanas de secagem (resultantes do abate de um único eucalipto) e à monitorização da secagem durante os dois meses iniciais após abate (efetuado por um madeireiro).

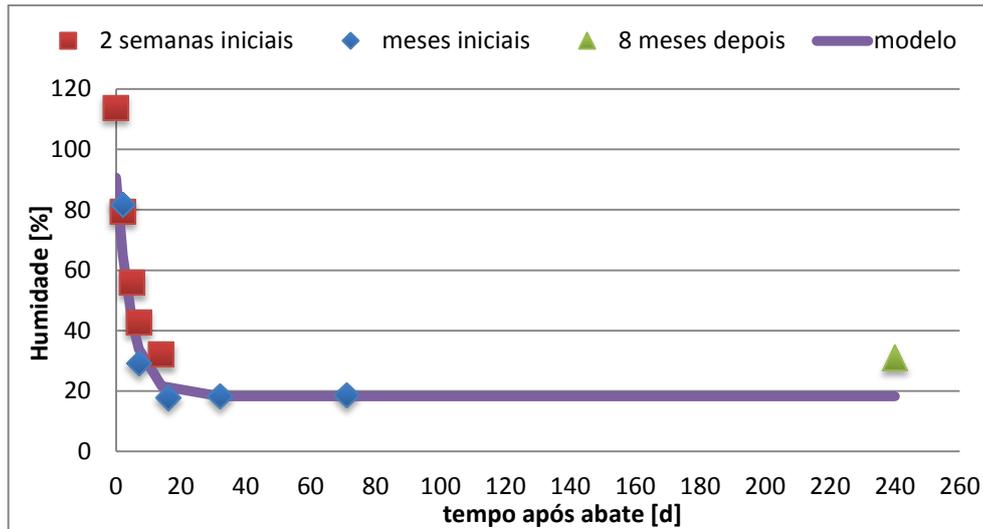


Figura 21 – Representação gráfica das curvas de secagem determinadas para os vários processos de secagem ao ar acompanhados, com aplicação do modelo desenvolvido para os meses iniciais, relativamente à base seca.

Observa-se então que a curva de secagem relativa ao acompanhamento das duas primeiras semanas se sobrepõe quase totalmente à curva obtida para os meses iniciais, com exceção do último ponto, que apresenta uma humidade um pouco superior. Porém, e contrariamente ao esperado, a biomassa que esteve oito meses em campo apresenta uma humidade superior ao ultimo valor determinado durante a monitorização da pilha de BFR deixada no terreno pelo madeireiro, sendo este valor muito próximo ao obtido no final do acompanhamento das duas semanas de secagem de um único eucalipto. Esta variação pode dever-se às condições climáticas registadas durante os vários períodos de amostragem, uma vez que, tanto a biomassa da pilha como a biomassa do eucalipto foram amostradas entre a primavera e o verão, sendo este um período quente e com poucos episódios de precipitação (Figura 10), enquanto a amostra da parcela AM1 foi recolhida logo após o final do período de chuvas, não tendo estado sujeita às condições que permitiram a secagem da humidade externa adquirida durante o este período (inclusive, durante a sua recolha, verificou-se que alguns ramos estavam molhados).

Foi também aplicado a estes dados o modelo desenvolvido a partir dos dados de secagem dos meses iniciais, verificando mais uma vez uma boa adaptação aos dados das primeiras duas semanas de secagem, e um desvio relativamente ao teor de humidade da BFR com oito meses de secagem.

### 5.1.4. Determinação da Densidade da BFR da Pilha

#### 5.1.4.1. Pilha em Campo Sem Compressão

A pilha construída em campo pelo madeireiro foi já caracterizada no ponto 5.1.1, tendo sido determinado um volume de 135 m<sup>3</sup>. O material constituinte da pilha não incluía apenas resíduos de abate de eucalipto, tendo sido igualmente encontrados ramos de eucalipto já secos (provenientes do ciclo natural de renovação desta árvore), ramos de pinheiro e fragmentos de mato arbustivo, arrastados aquando da limpeza do terreno. Todos estes constituintes foram pesados antes da colocação na sub-pilha, tendo-se obtido um valor final de cerca 503 kg de resíduos de abate. Desta forma, foi possível determinar a densidade da biomassa inteira utilizada, tendo-se obtido um valor aproximado de 72 kg.m<sup>-3</sup>, estando todos estes valores apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Grandezas medidas para a sub-pilha e valor de densidade média estimado.

Grandeza	Valor	Composição [%]
Massa ramos eucalipto [kg]	319	63,3
Massa bicadas eucalipto [kg]	119	23,6
Massa pinheiro [kg]	30,3	6,02
Massa ramos secos [kg]	18,7	3,71
Massa mato [kg]	16,8	3,33
Massa Total [kg]	503	
Volume médio [m <sup>3</sup> ]	7	
Humidade (bs) [%]	82	
Densidade [kg.m <sup>-3</sup> ]	71,8	

A comparação da sub-pilha aqui em análise com a pilha construída pelo madeireiro não é diretamente possível, dada a diferença de altura entre as duas. A pilha construída pelo madeireiro, pela altura que apresentava, estava sujeita a forças de compactação na base, pelo que densidade determinada para a sub-pilha, sendo relativa a material não compactado, apenas é representativa da camada superior. Desta forma, foi também construída uma pilha onde se aplicou compressão com o objetivo de simular a altura da pilha construída pelo madeireiro, determinando a sua densidade.

#### 5.1.4.2. Pilha Com Compressão

Tal como explicado no capítulo 4.2.5.2 da metodologia, a densidade da biomassa foi também determinada através de um ensaio de compressão, onde o material foi pesado e colocado numa caixa com volume conhecido, estando as suas dimensões referidas na Tabela 7, já apresentada no capítulo 4.2.5.2.

No total foram efetuadas quatro compressões e três adições de rama de eucalipto. Estas operações foram intercaladas com exceção da segunda e terceira compressões: após a segunda

compressão não houve adição de biomassa, mas sim uma nova compressão (3ª) onde se aumentou a força exercida sobre a superfície da pilha através do aumento da carga ali colocada, tendo-se passado dos 170 kg até então aplicados para os 340 kg. Após a terceira compressão fez-se nova adição de BFR à pilha seguida da última aplicação de força (cujo valor se manteve). Os dados recolhidos e calculados para este ensaio encontram-se na Tabela 17, sendo apresentados na Figura 23 alguns registos fotográficos do ensaio, onde se pode observar a pilha de biomassa antes da primeira compressão (Figura 23a), a carga total colocada na sua superfície (Figura 23b), e o estado final da biomassa após a quarta compressão (Figura 23c).

Na Figura 22 é apresentada a variação da densidade do material de acordo com a pressão aplicada à superfície e a pressão exercida na base da pilha, sendo possível observar os respetivos pares de valores. A densidade aumenta com o incremento da pressão aplicada sobre a superfície que, por sua vez, exerce uma pressão mais elevada no fundo da pilha devido à massa adicionada a cada etapa de compressão para preencher o volume da caixa. A evolução da densidade mostra que o efeito de compressão se mantém quando se retira a pressão aplicada para adicionar mais material entre as etapas do ensaio.

Da análise deste ensaio obteve-se então um total de cerca de 130 kg de rama de eucalipto com 23% de humidade, empilhada dentro da caixa que, após aplicação de uma pressão à superfície de  $244 \text{ kg.m}^{-2}$ , equivalente a uma pressão exercida na base de  $337 \text{ kg.m}^{-2}$ , ocupou um volume aproximado de  $1,2\text{m}^3$ . Com estes resultados estimou-se uma densidade final média da biomassa inteira e compactada de  $111 \text{ kg.m}^{-3}$ , o que corresponde a uma altura real de pilha de 3 metros. Assumindo então que esta densidade é mais aproximada às condições da pilha construída pelo madeireiro, calculou-se a quantidade de BFR alocada na pilha, tendo-se obtido um total de 15 toneladas com uma humidade de 23% (bs).

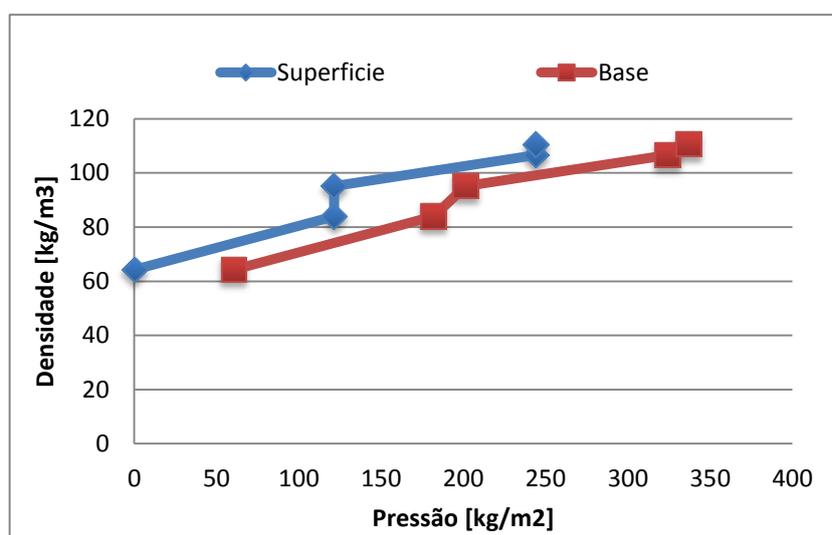


Figura 22 - Variações da densidade em função da pressão exercida na superfície e na base.

Tabela 17 - Dados relativos ao ensaio de compressão de biomassa de eucalipto.

Nº compressão	P amostra [kg]	Superfície		Base		Ensaio			
		Carga [kg]	Pressão [kg.m <sup>-2</sup> ]	Carga [kg]	Pressão [kg.m <sup>-2</sup> ]	Varição altura na caixa [m]	Altura final na caixa [m]	Volume final [m <sup>3</sup> ]	Densidade [kg.m <sup>-3</sup> ]
0	84,6	0,00	0,00	84,6	60,4	0,00	0,94	1,32	64,3
1	84,6	170	122	255	182	0,22	0,72	1,01	83,9
2	112	170	122	282	202	0,10	0,84	1,18	95,2
3	112	342	244	454	324	0,19	0,75	1,05	107
4	130	342	244	472	337	0,10	0,84	1,18	111



Figura 23 - Vários estágios do ensaio de compressão. a) Após a primeira carga de BFR. b) Aumento da força aplicada à superfície da caixa c) Pilha de biomassa após a última compressão.

### 5.1.5. Acompanhamento do Processo de Abate de Eucaliptos na área em estudo

Os dados recolhidos durante o acompanhamento do abate encontram-se sintetizados no Anexo II, onde se apresentam as parcelas observadas, respetiva referência, coordenadas geográficas e área aproximada, a existência ou não de recolha de biomassa e o estado em que esta se encontrava, bem como o estado do terreno.

Esta informação foi depois representada sob a forma de um gráfico de barras (Figura 24), tendo-se definido um código de cores para melhor identificar o estado da recolha de biomassa: a vermelho estão representadas as parcelas cuja biomassa não foi retirada, a amarelo as parcelas onde a BFR foi retirada apenas parcialmente, observando-se a existência de rama ainda espalhada pelo terreno, e a roxo as parcelas onde a biomassa foi completamente retirada (Tabela 18). Este código foi igualmente utilizado na representação georreferenciada produzida através do *Google Earth* (Figura 25). Para melhor compreender as diferenças entre os tipos de recolha identificados, apresentam-se na Figura 26 três fotografias, obtidas durante as saídas de campo, que correspondem a parcelas observadas.

Tabela 18 - Código de cores aplicado na identificação do tipo de recolha observada nas parcelas abatidas.

Cor	Tipo de Recolha
Vermelho	rama retirada totalmente
Amarelo	rama retirada parcialmente
Roxo	rama não retirada

Na Figura 24 apresenta-se a área de cada parcela e a existência ou não de recolha de biomassa, observando-se que de um total de 21 parcelas, doze tiveram algum tipo de recolha enquanto que em nove esta operação não foi efetuada. É interessante verificar que o número de parcelas onde houve recolha total de biomassa é idêntico ao número de parcelas onde a recolha foi apenas parcial, tendo ficado ainda em campo uma quantidade considerável de BFR. Nas parcelas com recolha total, apenas numa ficou a biomassa empilhada temporariamente na beira do terreno, sendo esta a BFR em estudo (AM3). Já as parcelas com recolha parcial apresentam uma igual distribuição entre a retirada parcial da biomassa (três) e o empilhamento no terreno (três). Por seu lado, nas nove parcelas onde não houve recolha de rama, esta foi empilhada em duas e nas restantes sete ficou espalhada pelo terreno (ver Anexo II).

Analisando a área ocupada por cada parcela, verifica-se que a maioria apresenta valores inferiores a 0,6 hectares (15 parcelas), e apenas quatro têm uma área superior a um hectare. Apesar de pequena, esta amostra caracteriza a situação atual da floresta portuguesa, uma vez que a maioria das parcelas existentes tem pequenas áreas. Confrontando a área com a recolha de biomassa, verifica-se que em três das quatro parcelas com área superior a um hectare houve algum tipo de recolha. No total, as vinte e uma parcelas abatidas ocupam uma área de 11,7 hectares, verificando-se que tanto a área com recolha completa como a área sem recolha têm um

peso percentual de 34% cada, estando os restantes 32% associados ao somatório da área onde a recolha de biomassa foi apenas parcial.

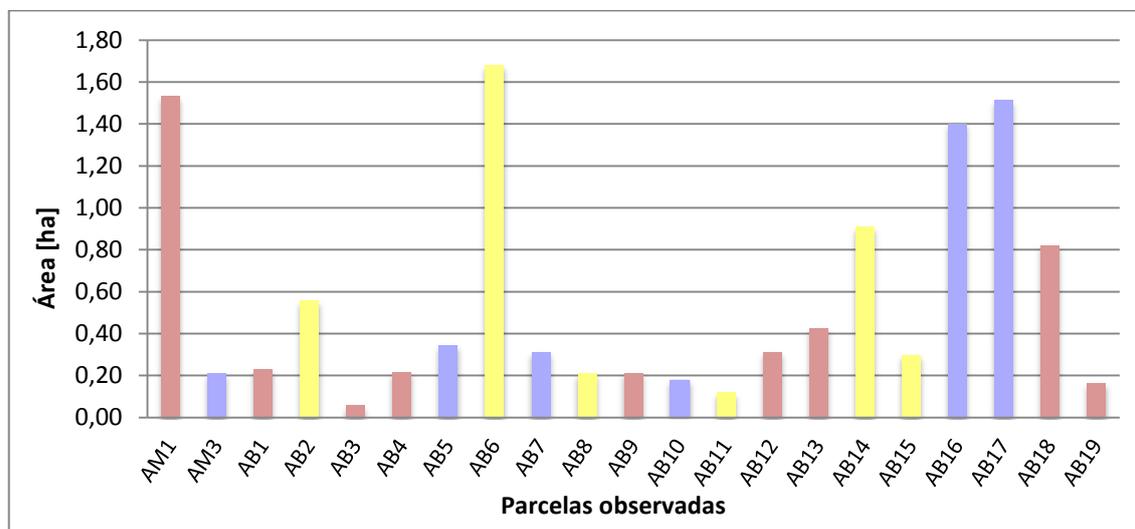


Figura 24 - Representação gráfica das áreas das parcelas em função do tipo de recolha de biomassa efetuada, de acordo com o código de cores estabelecido.

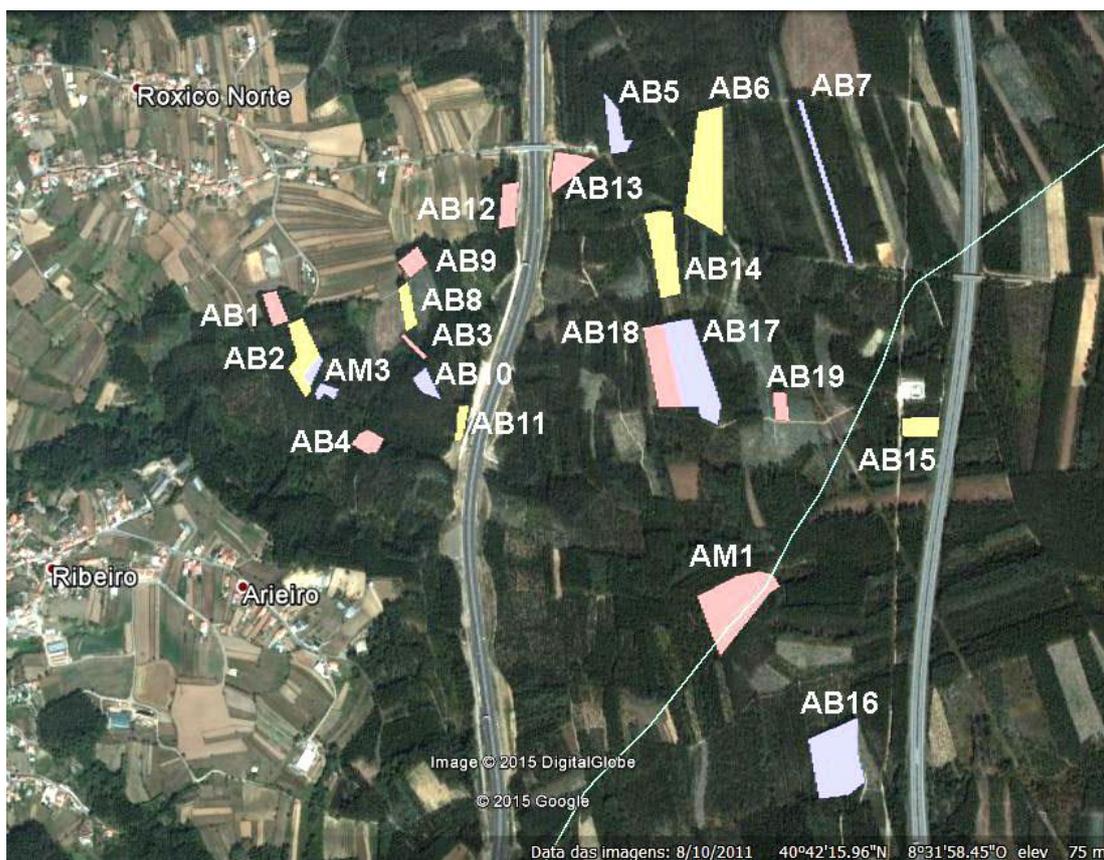


Figura 25 - Representação georreferenciada das parcelas abatidas, com aplicação do código de cores identificativo do tipo de recolha. Fonte: Google Earth.

Relativamente à distribuição geográfica das parcelas, não é visível um padrão de recolha através da Figura 25, tendo-se verificado aquando das observações no terreno, que a remoção de biomassa diminuía com o aumento do declive do terreno, sendo mais eficaz no seu centro que nas zonas junto ao limite. Observou-se igualmente que a BFR caída, durante o processamento, fora dos limites da parcela em abate também não era recolhida, ficando no local.

É importante referir que, para a parcela AM3, cuja biomassa é um dos objectos deste estudo, as observações feitas no terreno imediatamente após abate sugerem que a limpeza foi efetuada com um equipamento mecânico, por arraste até um dos limites da parcela onde foi construída a pilha. A limpeza com equipamentos mecânicos é limitada, não conseguindo fazer uma remoção completa da biomassa em todo o terreno, tendo-se observado que nos limites da parcela existiam ainda vários ramos de eucalipto, bem como nas zonas limítrofes com as parcelas vizinhas. A recolha da biomassa de AM3 foi efetuada cerca de dois meses após abate, tendo ficado durante este tempo a secar ao ar, empilhada em campo. Igualmente pelo observado durante as saídas de campo, esta situação será prática comum na região em que a área de estudo se insere, tendo-se observado a existência de várias pilhas de biomassa construídas em parques locais junto aos caminhos florestais; algumas destas foram retiradas ainda durante o período de observações, não tendo sido possível relacionar a biomassa ali alocada com as parcelas de origem (Figura 27). Este intervalo de tempo entre o abate e construção da pilha e a retirada completa da biomassa da floresta, não tendo sido possível de quantificar para alguns casos observados, sugere que situações idênticas possam ter ocorrido para as parcelas analisadas, isto é, nas parcelas onde houve registo de recolha de biomassa mas não de retirada imediata do campo, é possível que a BFR tenha sido também retirada, mas numa data posterior e já fora do período de monitorização.



*Figura 26 -Exemplos do tipo de recolha de biomassa efetuada. a) Parcela sem recolha (AB4). b) Parcela com recolha parcial (AB14). c) Parcela com recolha total (AM3).*



*Figura 27 - Exemplo de uma pilha de BFR construída junto ao caminho florestal para a qual não é possível identificar a(s) parcela(s) de origem.*

## 5.2. EC2 - Análise do Fornecimento de BFR a uma Central Termoelétrica

### 5.2.1. Valores Globais Médios de Biomassa Recebida para o Ano de 2013

A colaboração desenvolvida permitiu o acesso a dados relativos ao material recebido na central durante o ano de 2013. Desta forma, na Tabela 19 apresentam-se os valores mensais do total de biomassa recebida na central, incluindo todas as categorias de material recebido, já identificadas na Tabela 6, com respetiva humidade e densidade médias. A partir destes foram determinados os valores médios anuais, tendo-se obtido uma média de humidade de 39%, uma média de densidade de 286 kg.m<sup>-3</sup>, e um total de biomassa recebida durante todo o ano que ronda as 103 mil toneladas.

*Tabela 19 - Peso líquido, humidade e densidade médios para a totalidade da biomassa recebida na central sob todas as categorias, no ano de 2013.*

	Peso Líquido [ton]	Média de Humidade [%]	Média de Densidade [kg.m <sup>-3</sup> ]
jan	5.684	49,2	316
fev	8.387	46,1	304
mar	10.349	44,6	307
abr	10.123	42,0	300
mai	10.074	37,7	282
jun	9.061	34,3	273
jul	4.166	28,4	250
ago	8.257	26,4	248
set	8.539	30,0	266
out	8.825	41,3	306
nov	9.667	41,8	295
dez	10.162	41,1	290
Média 11 meses	9.390	38,9	288
Total anual	103.295		

Observando graficamente estes dados, verifica-se uma sazonalidade nos totais mássicos recebidos, com mínimos para os meses de janeiro e julho (Figura 28). Esta variação pode estar associada ao ritmo de abate e recolha da biomassa, sabendo-se, por informação da central, que os mínimos (observados para janeiro e julho) resultam de paragens para manutenção de equipamentos (durante um período aproximado de duas semanas em cada mês). De uma forma geral, o abate de árvores, e em particular do eucalipto, ocorre durante todo o ano, podendo ser mais pronunciado durante os meses quentes, dado as boas condições climáticas associadas. No entanto, um aumento no número de abates não significa um aumento na quantidade de biomassa recebida na central. Tipicamente durante os meses quentes o consumo energético tende a diminuir, pelo que as centrais não precisam de renovar o seu stock de biomassa com a mesma frequência, ou seja, uma parte significativa da biomassa florestal residual (BFR) gerada durante estes meses fica na floresta até ser possível o seu transporte para as centrais.

A massa recebida depende também da densidade e do teor de humidade da biomassa estando, geralmente, teores superiores associados a cargas de maior peso. Isto é, uma carga que

apresente um maior teor de humidade, tende a apresentar igualmente um peso líquido superior, mas o seu rendimento energético no processo de combustão é inferior. Desta forma, a variação nos pesos líquidos da biomassa que chegou à central pode ser explicada a partir dos respetivos teores de humidade, estando estes representados na Figura 29. O comportamento observado era já esperado e relaciona-se com as condições climatéricas associadas às diferentes estações do ano, verificando-se por esta representação gráfica que na sua maioria, nos meses em que o peso líquido diminuiu, a densidade e o teor de humidade também baixaram. Porém, observa-se uma exceção a esta tendência: janeiro e fevereiro apresentam uma variação crescente do peso líquido, enquanto a densidade e a humidade registam variações negativas. Este comportamento é inesperado pois para um volume constante, se o peso líquido diminui, seria de esperar uma diminuição da densidade. A existência de um elevado teor de humidade cria um efeito de enviesamento nos dados, resultando numa densidade elevada para um peso líquido baixo, o que sugere que as cargas recebidas durante estes meses (particularmente em janeiro) teriam chegado à central com excesso de água.

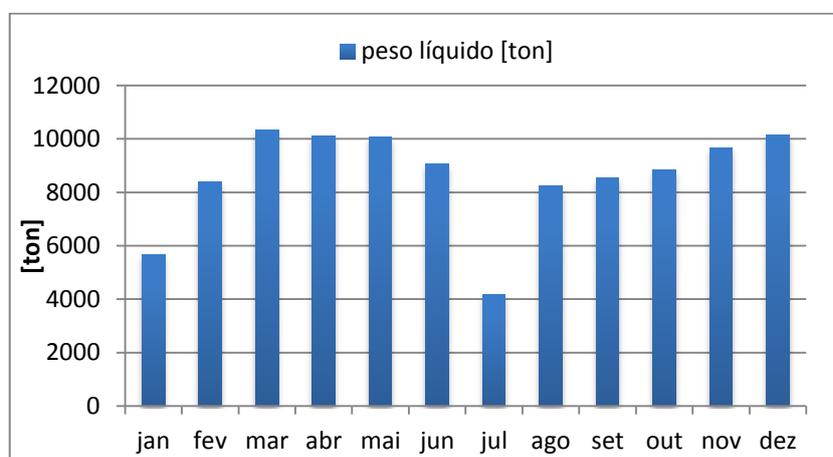


Figura 28 - Quantidades mensais de biomassa recebidas na central, para todas as categorias, durante o ano de 2013.

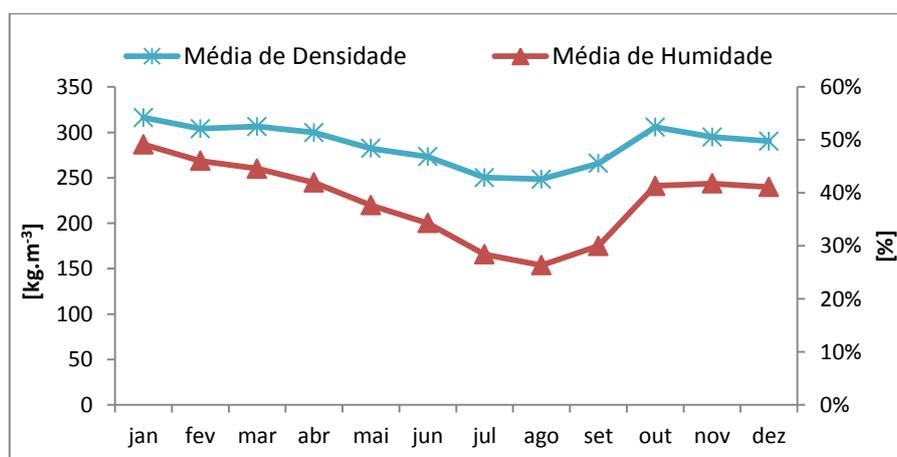


Figura 29 - Variações médias mensais de densidade para a totalidade da biomassa recebida na central, para todas as categorias, durante o ano de 2013.

### **5.2.2. Análise dos Locais de Origem da Biomassa para o Ano de 2013**

Os dados globais de 2013 recebidos continham informação relativa aos locais de proveniência do material, discriminados de acordo com as categorias definidas na Tabela 6, tendo-se focado a análise nas categorias *BEF – espécie 26* e *Bicadas Bruto*, dado que apenas estas correspondem a biomassa residual de exploração florestal (BFR), vindo este material nos dois estados físicos de desagregação: triturado e não triturado, respetivamente.

#### **5.2.2.1. Análise para a Categoria BEF – espécie 26**

Para esta tipologia de material (biomassa de eucalipto de exploração florestal, triturada), as cargas recebidas durante o ano de 2013 totalizaram cerca de 35,9 mil toneladas, provenientes de 94 pontos de origem. Pela Figura 30a) observa-se uma larga distribuição dos pesos líquidos totais, provenientes de cada local, sendo a esmagadora maioria inferior a 1000 toneladas (aproximadamente 92%, Figura 31). Apenas oito cargas locais superam este valor, sendo por ordem decrescente: S. Vicente Pereira, Mansores, Oliveira de Frades, Santa Maria da Feira, Pigeiros, S. Félix da Marinha, Castelo de Neiva e Alfena. Verifica-se que a localidade de S. Vicente Pereira é responsável pelo máximo recebido nesse ano, com total de 6330 toneladas, sabend-se por informação da central, que este fornecedor corresponde a um operador florestal com um parque onde concentra e tritura biomassa. Assim, assume especial interesse analisar os locais com pesos líquidos inferiores a 1000 toneladas (Figura 30b), bem como, distribuição dos locais de origem por classes de peso total recebido (Figura 31).

Observa-se então uma grande predominância de locais com pesos líquidos inferiores a 100 toneladas (52%), sendo que 29% são inferiores a 50 toneladas. Se adicionarmos a este conjunto os locais com peso líquido até 200 toneladas, obtém-se 70% do total rececionado na central neste ano. Em contraste, observa-se que os locais com pesos líquidos superiores a 1000 toneladas representam apenas 8% do material abastecedor. Verifica-se, assim, a elevada dispersão dos locais de origem das cargas fornecidas a esta central.

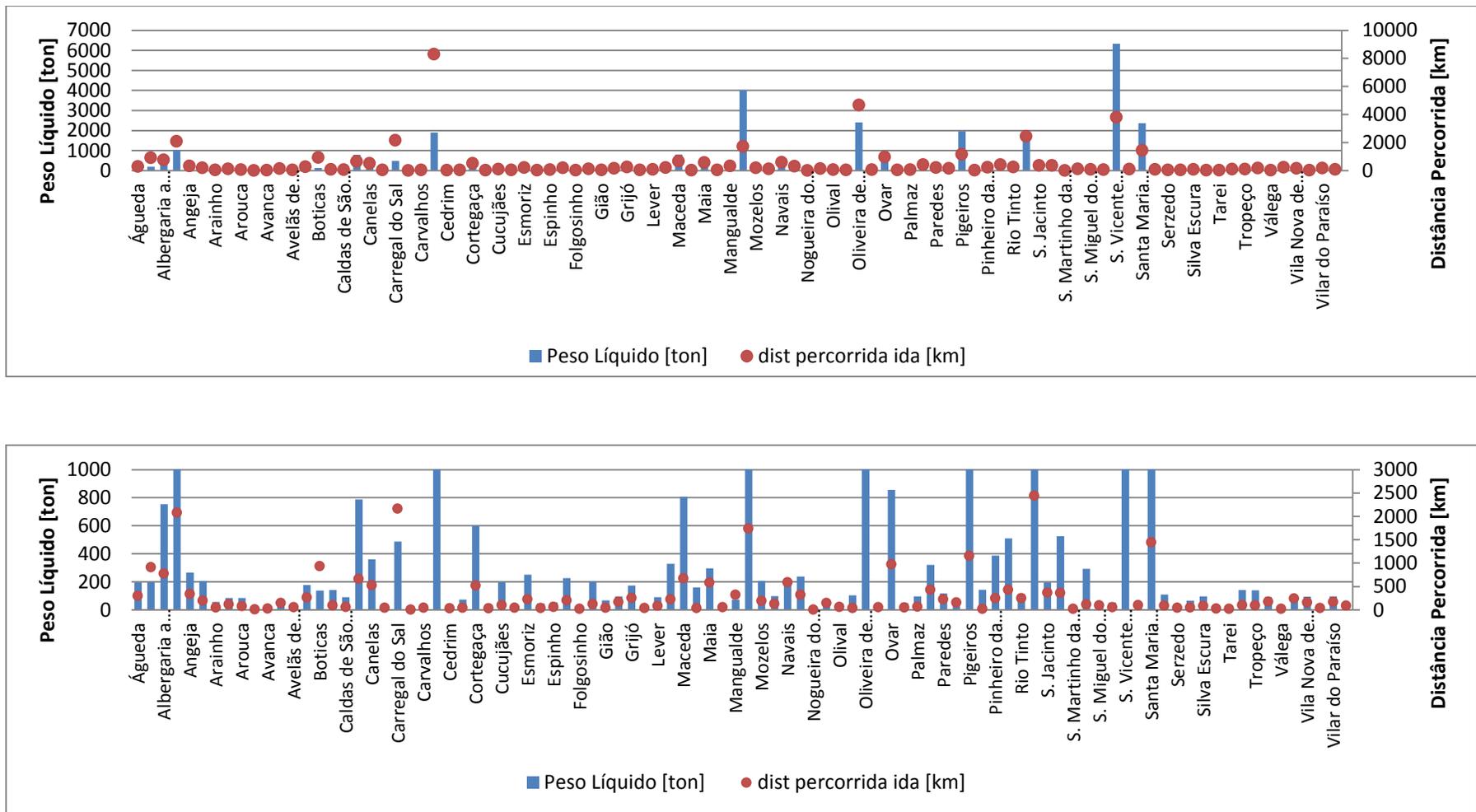


Figura 30 - Distribuição das cargas recebidas de BEF 26 em 2013 por local de origem e distância percorrida no seu transporte. a) para a globalidade dos dados. b) para locais com peso líquido até 1000 toneladas.

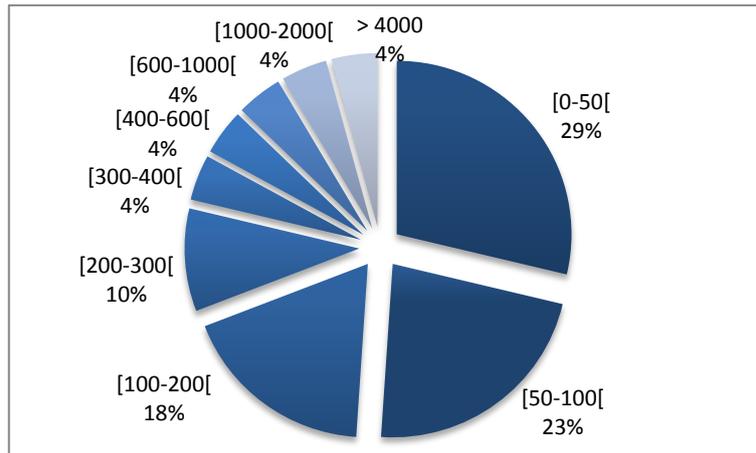


Figura 31 - Distribuição percentual dos locais abastecedores de BEF 26, classificados por peso líquido, em toneladas.

A biomassa recebida por esta central é proveniente de vários pontos do país. Na Figura 32 apresenta-se a distribuição percentual das distâncias destes locais à central, verificando-se que a maioria se localiza num raio inferior a 60 quilómetros; apenas 12% da biomassa é proveniente de distâncias superiores. Destes locais, 41% situa-se entre 20 e 40 km da central, distando 28% menos de 20 quilómetros. No entanto, estes valores são relativos apenas à distância entre a central e o local de origem do material, não contabilizando o número de viagens necessárias para transportar toda a carga. Assim, é necessário relacionar estes dois fatores, tendo uma visão mais real das distâncias totais percorridas. A representação gráfica desta relação encontra-se apresentada na Figura 30.

Para determinar o número de viagens necessárias para transportar a totalidade da biomassa, e com base em informação fornecida pela central (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**), foi assumido um peso líquido médio de uma carga de 26,6 toneladas (em base tal e qual), tendo-se obtido um total acumulado de 1348 viagens para todos os locais de proveniência.

Da Figura 30 observa-se alguma disparidade entre a distância total percorrida e a carga total transportada, existindo locais onde o desfasamento entre a carga transportada e o número de quilómetros percorridos é elevado, tratando-se assim de um transporte pouco rentável. Tal é o caso de Castelo de Neiva, Oliveira de Frades, Alfena e Carregal do Sal, onde o primeiro apresenta o maior desfasamento. Contudo, a maioria dos pontos de origem apresenta uma boa relação entre distância total percorrida e massa total transportada, sendo portanto um transporte eficiente. Da análise efetuada foi ainda possível determinar a distância média percorrida para transportar uma carga média de 26,6 toneladas (btq), obtendo-se um valor de 32,7 quilómetros, estando este resultado de acordo com a análise percentual apresentada na Figura 32.

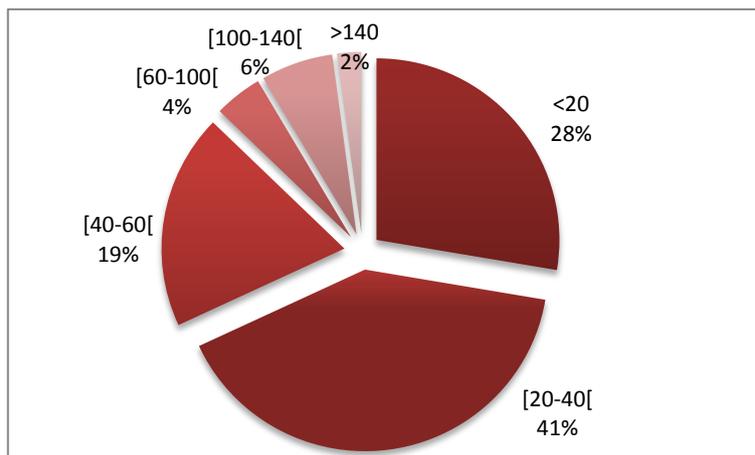


Figura 32 - Distribuição percentual de locais abastecedores de BEF 26 por classes de distância (em quilómetros), para uma viagem entre o local e a central.

Por último, apresenta-se na Tabela 20 uma síntese da informação anteriormente apresentada, relacionando o peso líquido proveniente de cada local de origem, com a distância entre esse local e a central, e a distância total percorrida para efetuar o transporte da respetiva massa.

Tabela 20 – Síntese da análise das distâncias entre os locais de origem e a central, para a categoria BEF – espécie 26.

	Local	Origem Município	Dist. à origem [km]	Peso Liq. [ton]	Nº cargas	Dist. total percorrida [km]
<b>Dist. à Origem</b>	Máx. Boticas	Boticas	186	137	5	930
	Mín. Carregosa	Oliv. de Azeméis	3	24	1	3
<b>Peso Líquido</b>	Máx. S. Vicente Pereira	Ovar	16	6330	238	3808
	Mín. Folgosinho	Arouca	18	16	1	18
<b>Dist. Total Percorrida</b>	Máx. Castelo de Neiva	Viana do Castelo	117	1897	71	8307
	Mín. Carregosa	Oliv. de Azeméis	3	24	1	3

Observa-se então que o local mais próximo de origem de BEF 26 é a freguesia de Carregosa, onde está inserida a central, e onde se considerou uma distância média de 2,9 km à central, ao passo que o local mais longínquo se situa a 186 km, na freguesia e concelho de Boticas, já no distrito de Vila Real, com cargas de 23,8 e 137,2 toneladas de biomassa, respetivamente. No entanto, se o foco da análise for o peso líquido absoluto das cargas transportadas, verifica-se que a local para o qual o peso líquido é máximo, com aproximadamente 6330 toneladas, é a freguesia de S. Vicente Pereira, no município de Ovar, a 16 km da central, enquanto a menor carga foi de 16 toneladas, distando 18 km, na freguesia de Folgosinho, concelho de Arouca.

Contudo, e tal como foi já referido anteriormente, esta análise não traduz de forma realista a eficiência do transporte, dado que não contabiliza a carga total transportada. Assim, ponderando a distância percorrida com o peso líquido transportado em apenas uma viagem entre o ponto de origem e a central, para uma carga média de 26 toneladas (btq), verifica-se que a biomassa proveniente de Carregosa se mantém como o transporte mais eficiente (tal como se

esperava), enquanto Castelo de Neiva, no concelho de Viana do Castelo, se apresenta como o local de menor rentabilidade, sendo necessário percorrer 8307 km (num total de 71 viagens) para fornecer à central cerca de 1897 toneladas de *BEF 26*. Apesar da ineficiência devido à distância a percorrer, a importância deste local de origem revela dificuldades na venda de resíduos de abate.

Foi também verificada a existência de outros casos em que o peso líquido transportado era muito pequeno relativamente à distância percorrida, como por exemplo Pedrogão Pequeno, que dista 154 quilómetros e de onde foram transportadas apenas 33 toneladas de *BEF 26*, e Viana do Castelo, a 120 quilómetros da central mas com um total de carga de 62 toneladas. Na Figura 33 estão representados os locais de proveniência da biomassa, constituídos pelos símbolos a azul, e a central, marcada com o símbolo a vermelho, sendo possível observar um raio de abastecimento na área circundante da central e a elevada distância a que se encontram os locais mais dispersos, já mencionados.

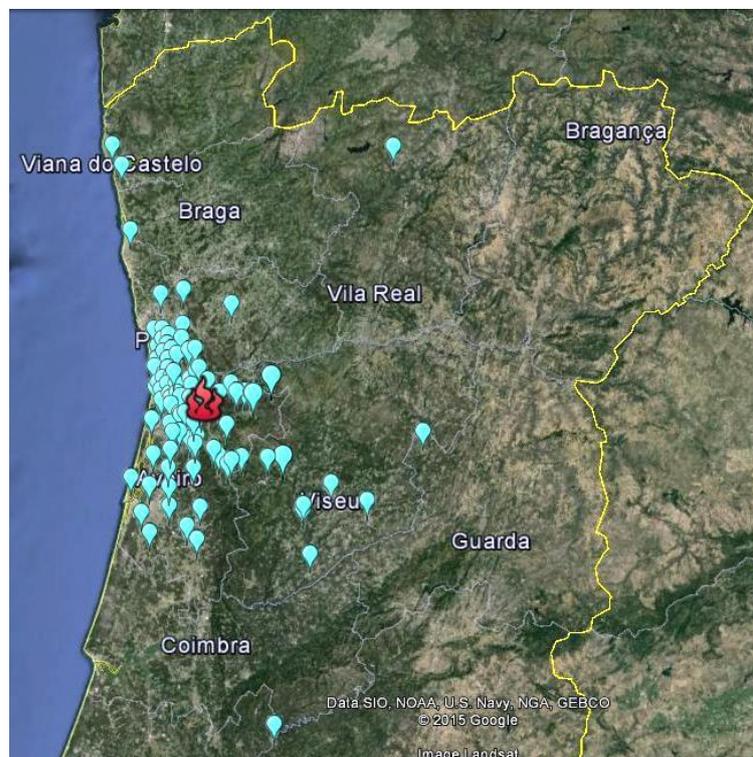


Figura 33 - Distribuição geográfica da central e dos locais de origem da biomassa para as categorias *BEF - espécie 26* e *Bicadas Bruto*, no ano de 2013. Fonte: Google Earth.

#### 5.2.2.2. Análise para a Categoria *Bicadas Bruto*

Esta categoria foi analisada de forma semelhante a *BEF 26*. Porém, em 2013, esta tipologia de material não tinha ainda um peso significativo no total de material consumido por esta central, dado que não existiam ainda as condições adequadas ao seu correto manuseio e processamento, pelo que os dados disponíveis para análise são escassos.

A massa total de *Bicadas Bruto* recebida na central foi de aproximadamente 2,7 mil toneladas, oriundas de 54 localidades. Observa-se a existência de oito locais de origem, com

pesos líquidos superiores a 100 toneladas, sendo o máximo proveniente de Avanca, seguida por Carregosa, Escariz, Loureiro, Nogueira de Cravo, Palmaz, S. João de Ver e S. Roque, que representam 15% do total deste tipo de material (Figura 36 e Figura 34, respetivamente). Verifica-se também uma predominância de pesos líquidos entre as 10 e as 50 toneladas (45%), enquanto pesos líquidos inferiores a 10 toneladas, ou que variem entre as 50 e as 100 toneladas têm o mesmo peso percentual, 20% (Figura 34).

Dada a pequena relevância que assumia em 2013, os locais de origem deste tipo de biomassa tendem também a ser próximos da central. Assim, verifica-se pela Figura 35 uma predominância de locais cuja distância seja inferior a 20 quilómetros (65%), enquanto locais que distem mais de 40 quilómetros não representam mais de 4% do total de pontos abastecedores.

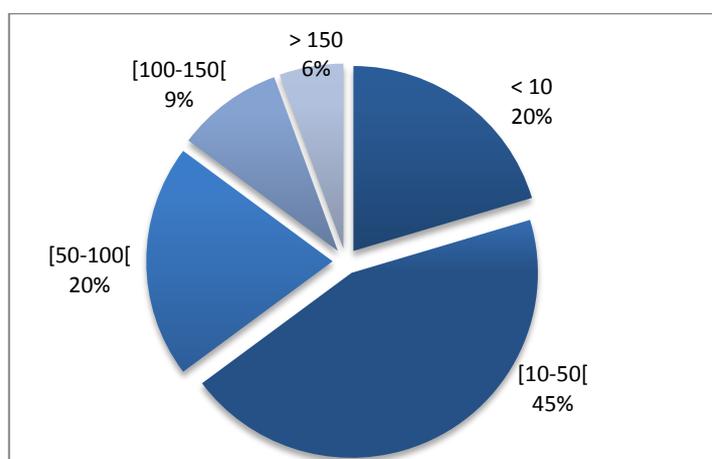


Figura 34 - Distribuição percentual dos locais de origem de Bicadas Bruto, classificados por peso líquido, em toneladas.

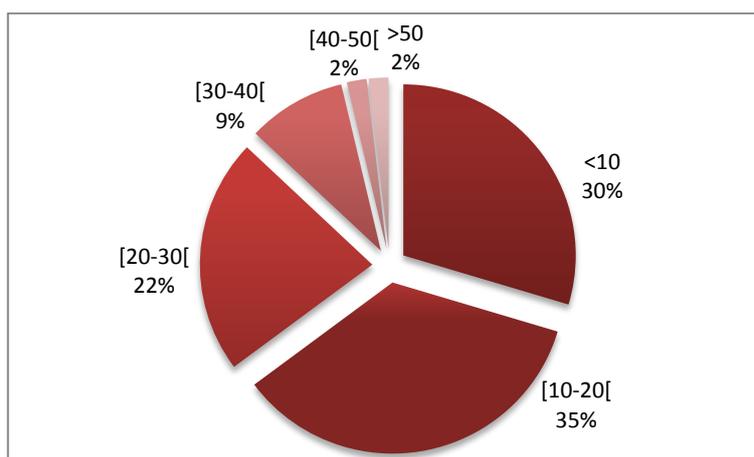


Figura 35 - Distribuição percentual dos locais de origem de Bicadas Bruto por classes de distância (em quilómetros), para uma viagem entre o local e a central.

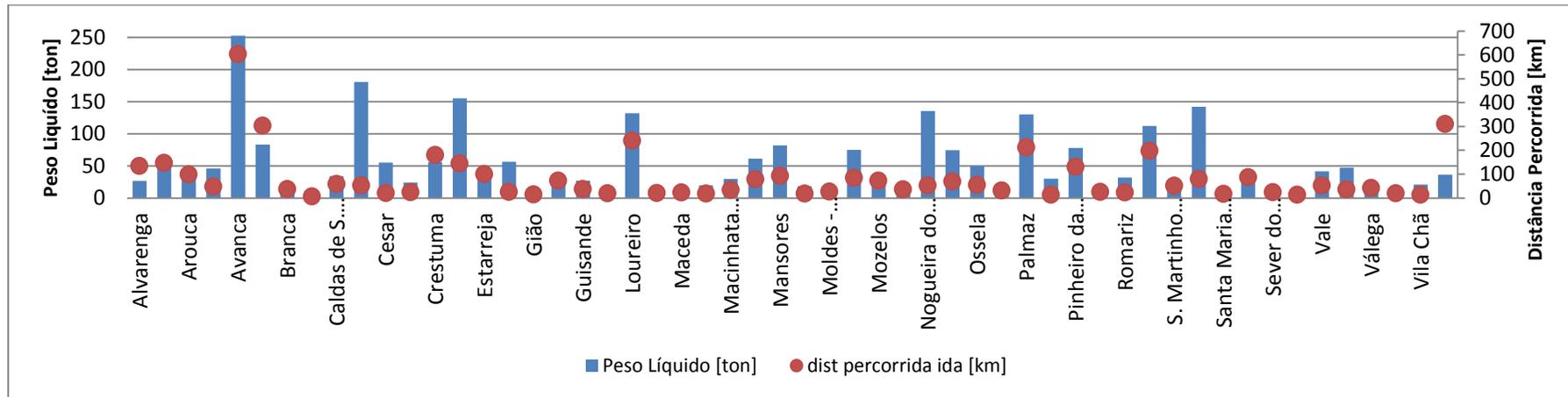


Figura 36 - Distribuição das cargas recebidas de Bicadas Bruto em 2013 por local de origem e distância total percorrida no seu transporte.

Ponderando, por fim, a distância total percorrida para transportar toda a massa recebida, observa-se pela Figura 36 uma boa correlação entre estas grandezas, existindo apenas um ponto de disparidade, relativo a Vouzela, o que revela a mesma dificuldade de escoamento já observada na categoria de *BEF 26*. Desta forma, e na generalidade, pode considerar-se que este foi um transporte eficiente, apesar da pouca significância desta tipologia de material no ano de 2013.

Sintetizando os resultados obtidos através da Tabela 21, verifica-se que como local mais próximo de origem desta tipologia de biomassa se mantém a freguesia de Carregosa, enquanto o mais longínquo é Vouzela, no distrito de Viseu, a 77,5 km da central, com pesos líquidos recebidos de respetivamente 180 e 36 toneladas. Tendo o peso líquido como foco de análise, Avanca apresenta-se como o maior fornecedor, com 253 toneladas, e a freguesia de Gião, em Santa Maria da Feira, o menor, com cerca de 5 toneladas. A ponderação da distância total percorrida com a carga total transportada mantém Avanca como o maior ponto abastecedor, com um total aproximado de 600 km percorridos, mas apresenta a freguesia de Bustelo, no concelho de Oliveira de Azeméis, como o ponto de menor distância acumulada, percorrendo 6,3 km para transportar 6 toneladas.

Tabela 21 - Síntese da análise da fração Bicadas Bruto.

		Local	Origem Município	Dist. à origem [km]	Peso Liq. [ton]	Nº cargas	Dist. total percorrida [km]
<b>Dist. à Origem</b>	Máx.	Vouzela	Vouzela	78	36	4	310
	Mín.	Carregosa	Oliveira de Azeméis	3	181	18	52
<b>Peso Líquido</b>	Máx.	Avanca	Estarreja	24	253	25	603
	Mín.	Gião	Stª Maria da Feira	15	5	1	15
<b>Dist. Total Percorrida</b>	Máx.	Avanca	Estarreja	24	253	25	603
	Mín.	Bustelo	Oliveira de Azeméis	6	6	1	6

### 5.2.3. Características das Cargas Recebidas da Categoria BEF – espécie 26 para Locais Selecionados

Foram selecionados para caracterizar as cargas fornecidas à central os seguintes locais abastecedores de *BEF 26*: Albergaria-a-Velha, Maceda, Mansores, Oliveira de Frades, Ovar, S. Vicente Pereira e Santa Maria da Feira. A informação analisada era relativa aos pesos líquidos em base tal e qual (btq) de cada carga recebida destes locais, contendo igualmente indicação de humidade, densidade e volume associados a estes dados.

Após eliminação de dados incompletos, determinou-se o peso líquido total desta amostra (cerca de 12 mil toneladas, em base tal e qual), bem como os valores médios, máximos e mínimos destas variáveis, o desvio padrão associado à média e o número total de cargas recebidas de cada local. De seguida, foi calculado o peso líquido na base seca, e efetuada uma análise estatística semelhante à anteriormente descrita, estando estes dados apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Estatísticas obtidas para a amostra de cargas de BEF 26 recebidas na central, relativamente a valores médios, máximos e mínimos de peso líquido, humidade e densidade

	Nº de Cargas	Parâmetro estatístico	Peso Líq. btq [ton]	Peso Líq. bs [ton]	Humidade [-]	Densidade [kg.m <sup>-3</sup> ]
<b>Total</b>	451	Média	26,6	16,3	0,38	296
		Desvio Padrão	3,86	2,38	0,11	42,9
		Máximo	38,7	23,8	0,64	430
		Mínimo	10,2	5,09	0,12	113
<b>Albergaria-a-Velha</b>	27	Média	23,9	16,9	0,29	266
		Máximo	30,8	22,6	0,52	342
		Mínimo	16,1	11,3	0,13	179
<b>Maceda</b>	27	Média	25,0	15,6	0,37	277
		Máximo	36,0	19,8	0,54	400
		Mínimo	17,3	12,2	0,20	192
<b>Mansores</b>	112	Média	27,2	16,6	0,38	302
		Máximo	34,8	23,4	0,56	386
		Mínimo	10,2	5,09	0,14	113
<b>Oliveira de Frades</b>	19	Média	25,6	12,3	0,51	284
		Máximo	31,5	14,8	0,64	350
		Mínimo	16,4	9,65	0,21	182
<b>Ovar</b>	28	Média	25,2	16,8	0,32	280
		Máximo	34,1	23,8	0,51	379
		Mínimo	15,6	13,2	0,12	173
<b>S. Vicente Pereira</b>	186	Média	26,9	16,5	0,38	299
		Máximo	38,7	21,8	0,61	430
		Mínimo	14,9	10,3	0,12	165
<b>Santa Maria da Feira</b>	52	Média	27,7	16,2	0,41	308
		Máximo	36,8	19,9	0,57	409
		Mínimo	16,4	12,3	0,17	182

Observa-se então para esta amostra que o peso líquido médio em base tal e qual é de aproximadamente 27 toneladas, a humidade média é de 38%, e densidade média aproxima a 296 kg.m<sup>-3</sup>. Para a base seca esta análise traduz-se numa massa total de 7354 toneladas de biomassa recebida, com peso líquido médio de 16 toneladas por carga recebida, constituindo estes dados a base de cálculo para o desenvolvimento de um modelo de ajuste para a humidade.

O referido modelo, apresentado no capítulo da metodologia (4.3.3) que resulta na Equação 7, permitiu estimar o peso líquido total esperado de uma carga (bs), com a expressão:

$$P. \text{ líq. teórico (btq) [ton]} = \frac{16,31}{(1 - H)} \quad (\text{Equação 12})$$

A aplicação numérica deste modelo apresenta-se na Tabela 23, e a sua representação gráfica associa-se à representação gráfica dos dados amostrais na Figura 37. De notar que esta representação foi limitada a humidades até aos 50% por indicação da central, que se baseou em observações efetuadas da biomassa durante a receção nas suas instalações, tendo registado que para valores mais elevados de humidade a biomassa tende a chegar com água externa.

Tabela 23 - Aplicação do modelo desenvolvido para o ajuste de humidade.

Humidade [-]	Peso Líq. Teórico (bs) [ton]
0,10	18,1
0,15	19,2
0,20	20,4
0,25	21,7
0,30	23,3
0,35	25,1
0,38	26,3
0,40	27,2
0,45	29,7
0,50	32,6

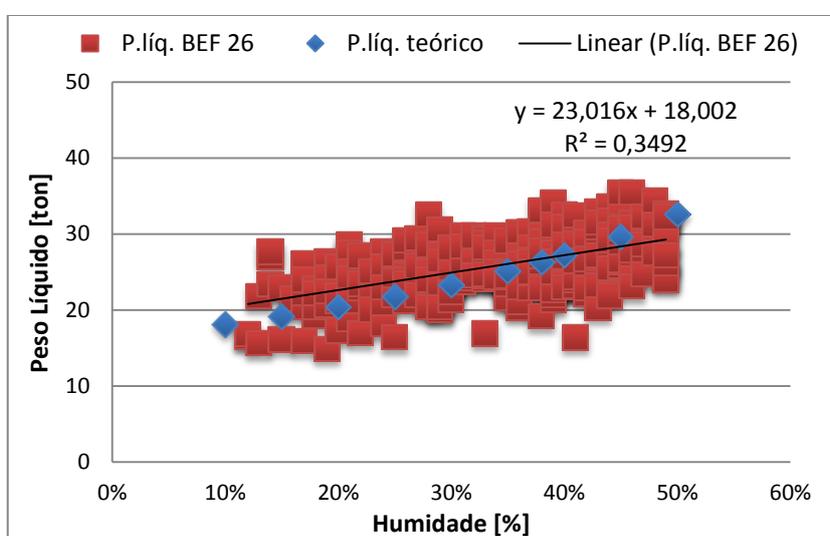


Figura 37 - Representação gráfica dos dados amostrais (bs) com aplicação do modelo de ajuste desenvolvido.

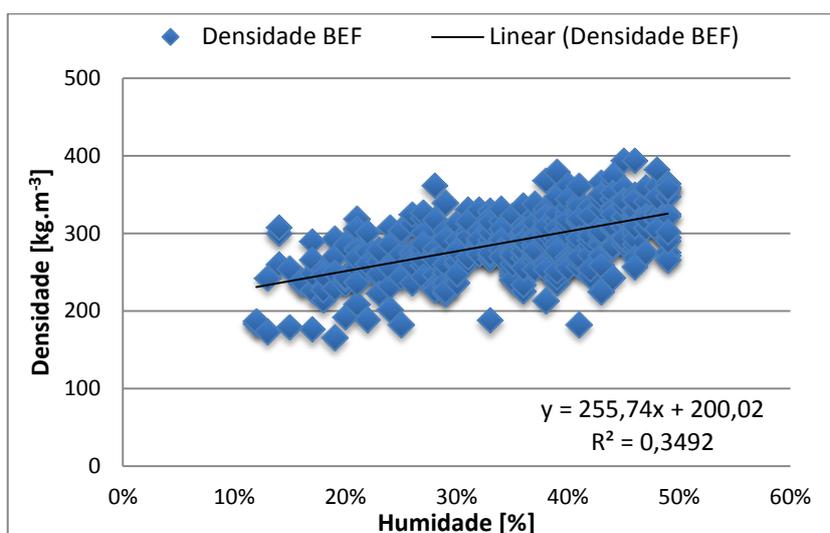


Figura 38 - Relação entre a densidade e a humidade da BEF 26, relativamente à base seca.

Da observação da Figura 37 verifica-se que a dispersão dos pesos líquidos relativamente ao teor de humidade é pequena, sendo a nuvem de pontos compacta. Também o modelo desenvolvido parece ter uma boa aplicação aos dados, apresentando uma tendência linear, que apenas difere da regressão linear estimada pelo *Excel* no declive da reta resultante da melhor aproximação. Desta forma, pode-se deduzir que o modelo desenvolvido é válido para este tipo de biomassa, com a limitação da humidade a um máximo de 50%.

A análise gráfica dos valores de densidade fornecidos para as cargas em análise é apresentada na Figura 38, podendo observar-se que o comportamento se assemelha ao da humidade, com a nuvem de pontos compacta e igualmente distribuída em torno da reta de regressão linear.

#### 5.2.4. Análise Global por Fornecedor

Foi ainda possível proceder à análise da distribuição de humidade, agrupando as cargas recebidas de todas as categorias de material, provenientes de várias localidades, transportadas pelos quatro principais fornecedores desta central. Os totais transportados por estes fornecedores estão indicados na Figura 39.

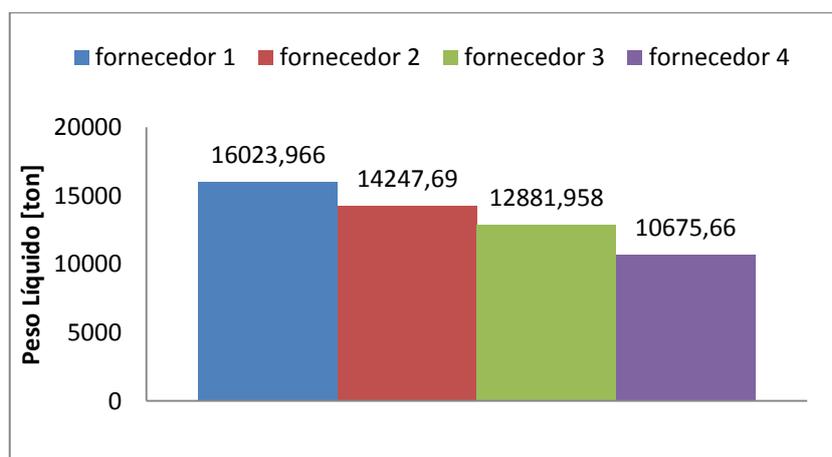


Figura 39 - Cargas totais rececionadas na central e oriundas dos principais fornecedores.

Os dados recebidos continham informação relativa ao total de cargas fornecidas por classe de humidade da biomassa (Tabela 24), estando estes dados distribuídos entre os 11 e os 65%. Analisando as massas recebidas em cada classe, observa-se que os totais de carga mais frequentes foram obtidos para humidades próximas dos 40%, apresentando as cargas de baixa humidade (inferior a 20%) e de alta humidade (superior a 55%) uma pequena frequência.

Tabela 24 - Cargas totais amostradas por classes de humidade recebidas na central.

Forn.	Classes de Humidades				Humidade Média [%]
	Máximo		Mínimo		
	Carga [ton]	H [%]	Carga [ton]	H [%]	
1	335,6	43	18,7	21	41
2	580,9	40	24,0	13	36
3	710,7	44	17,9	11	41
4	578,4	37	13,7	13	37

Representando estes dados graficamente (Figura 40), observa-se mais claramente a sua distribuição, verificando-se a existência de um pico para teores de humidade entre os 30 e os 50%, com maior incidência por parte dos fornecedores 2 e 3.

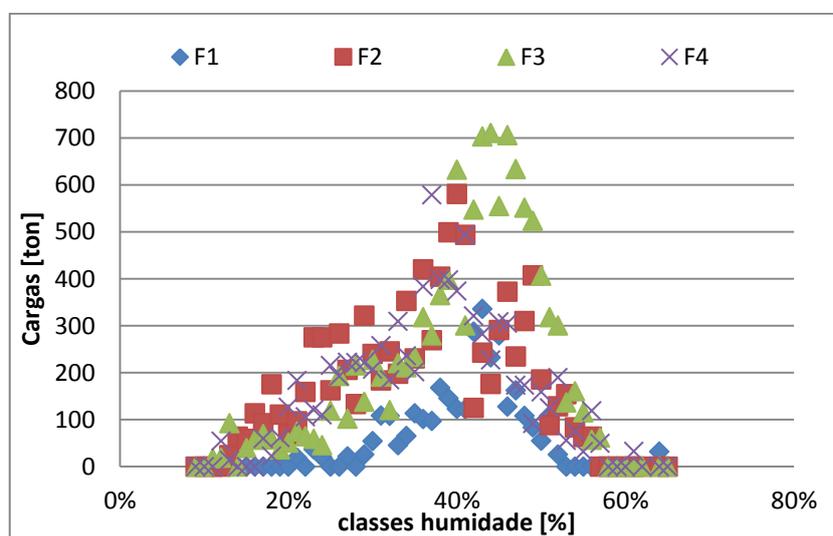


Figura 40 – Distribuição do total das cargas recebidas pelos diferentes fornecedores em função da sua humidade.

## 6. Discussão e Conclusões

Como se pôde verificar pelo estado da arte apresentado no início deste trabalho, a Biomassa Florestal Residual (BFR) é geralmente composta pelos resíduos da atividade florestal, mais concretamente as raízes, ramos e bicadas, que tipicamente não possuem interesse para aplicação madeireira, mas que podem ainda ser valorizados energeticamente.

Quando a atenção é focada nos resíduos da espécie dominante nas florestas portuguesas, o *Eucalyptus globulus* (com mais de 800 mil hectares, representando cerca de 26% da área florestal, Figura 3), verifica-se que existe um grande potencial para valorização desta biomassa. Vários autores estimaram este potencial, não havendo concordância entre os diversos resultados obtidos. Porém, a tendência registada na bibliografia sugere que, mesmo com condicionalismos associados a questões orográficas ou de logística de exploração, cerca de 80% da BFR existente em Portugal está disponível para aproveitamento ((Esteban & Carrasco, 2011) e (Lopes et al., 2013)).

A exploração florestal em Portugal consiste, na generalidade, em operações de manutenção e abate, provindo desta última a maioria dos resíduos que são atualmente aproveitados. No decorrer do trabalho verificou-se que as práticas correntes de abate utilizam a motosserra como equipamento preferencial de corte, seguindo-se o desrame no local, de onde resulta que a rolaria e os resíduos ficam inicialmente dispersos na área de abate. Após a recolha (rechega) da rolaria (com trator florestal) para um carregadouro, geralmente permanecem no terreno os resíduos de abate. Estes tendem a ficar espalhados ou empilhados no terreno, e posteriormente podem ser recolhidos por um trator florestal e transportados para uma pilha formada num local de armazenamento temporário, que permite o acesso dos equipamentos de transporte final.

Antes do transporte final, pode ocorrer uma operação de trituração (com um destroçador de martelos) dos resíduos, que são depois carregados num veículo reboque articulado, normalmente de volume definido (90m<sup>3</sup>). Esta prática está dependente da zona e do operador florestal em questão. Alternativamente, em locais de acesso mais difícil, os resíduos armazenados podem ser carregados em camião e transportados inteiros para um parque ou diretamente para uma central bioelétrica.

Estas práticas puderam ser observadas durante o acompanhamento do processo de abate ocorrido durante os meses de maio, junho e julho de 2014 na mancha florestal onde se inserem as parcelas amostradas. Esta monitorização foi efetuada como complemento ao controlo do processo de secagem da BFR, tendo como objetivos principais a determinação da área total abatida, relativamente à área total observada, a existência ou não de recolha dos resíduos de abate, e as condições em que estes se encontravam, bem como as condições do terreno após abate. Para tal, foi desenvolvida uma nomenclatura associada a um código de cores, aplicado na análise gráfica, onde parcelas cuja biomassa foi completamente retirada foram identificadas a roxo, parcelas onde a recolha de biomassa foi apenas parcial ficaram identificadas a amarelo, e as parcelas onde não houve qualquer tipo de recolha foram representadas a vermelho (Figura 24 e Figura 25).

Verificou-se que das 21 parcelas observadas, com uma área total de 11,7 hectares, nove não sofreram qualquer recolha, seis tiveram a biomassa parcialmente recolhida, tendo a recolha sido completa nas restantes seis parcelas, o que se traduz numa área total de 7,7 hectares abatidos onde houve um qualquer tipo de recolha. Consta-se assim que a área total avaliada pode ser dividida em três terços relativamente ao tipo de recolha, cada um com um peso percentual de 33%. No entanto, não é visível um padrão de recolha dependente da área da parcela nem da sua localização geográfica, verificando-se que das quatro parcelas com área superior a um hectare, apenas uma não teve recolha de BFR, e que das 15 parcelas com área inferior a 0,6 hectares, quatro tiveram recolha completa, quatro tiveram recolha parcial e sete não tiveram recolha (Figura 24 e Figura 25). Apenas foi observada a influência do declive na operação de recolha, o que corrobora as considerações feitas por Esteban & Carrasco, (2011), Ferreira et al., (2009) e Lopes et al., (2013). Não foi possível quantificar este efeito, mas foi possível observá-lo numa parcela disposta em leque e plantada em socos (AB4), e onde apenas foi recolhida a rolaria; uma fotografia desta parcela está apresentada na Figura 26a).

Relativamente à recolha imediata ou alocação em pilha, foi observado através da parcela AM3 (cujo abate foi realizado por um madeireiro), que a BFR foi armazenada em pilha, deixada em campo a secar, e apenas retirada de campo cerca de dois meses após o abate. As observações de campo durante as saídas, sugerem que esta será uma prática corrente das operações de abate para a zona onde se insere a área de estudo, uma vez que foram observadas diversas pilhas de BFR construídas em carregadouros que ficaram em campo por um intervalo de tempo não determinado até ao transporte para a indústria recetora da BFR. Esta prática tem implicações ao nível do transporte final, pois durante o tempo de armazenamento na floresta a biomassa perde humidade.

Para o desenvolvimento do trabalho de campo foi aproveitado o abate realizado por um madeireiro, e seleccionada uma parcela próxima para efetuar o abate de um único exemplar de *Eucalyptus globulus*. Como apresentado no capítulo dos resultados (5.1.2), o espécimen de eucalipto foi abatido na parcela identificada como AB10, durante um período com precipitação intensa, tendo-se invalidado a amostra recolhida nesse dia, e assumido que as pesagens dos ramos e bicada foram relativas a material molhado, obtendo uma massa total de 89 kg, com humidade de 115% (bs). A medição das principais grandezas deste exemplar permitiu determinar várias variáveis dendrométricas, tendo-se então, por medição direta, uma altura da árvore de 21 metros, com um total de 19 ramos e uma bicada, diâmetro do cepo de 30 cm, diâmetro à altura do peito (DAP) de 22,6 cm e área basal de 0,04 m<sup>2</sup>, isto é, área da secção do diâmetro DAP; e recorrendo às relações alométricas apresentadas na Tabela 3, estimou-se um valor de 0,0142 para a fração biomassa aérea (ramos e folhas) relativamente à biomassa aérea total (Tabela 8 e Tabela 9). Verificou-se que a divisão entre ramos com folhas e lenho com cas feita na prática do madeireiro é muito diferente da usada na obtenção das relações alométricas.

Por seu lado, a área abatida pelo madeireiro foi de 2100 m<sup>2</sup>, com referência identificativa AM3, e resulta da junção de duas parcelas contíguas. A BFR resultante do abate e desrama dos eucaliptos foi empilhada pelo madeireiro num extremo do terreno junto ao caminho florestal, tendo-se determinado para a pilha uma altura média de 3,5 metros e um volume de 135 m<sup>3</sup>. Por

observações em campo, assumiu-se que a limpeza do terreno foi efetuada com recurso a maquinaria própria, tendo-se contabilizado um total de 341 cepos deixados no terreno.

Várias são as questões que influenciam o transporte da biomassa, mas a humidade (e sua relação com a densidade) é talvez a mais relevante, uma vez que o aumento da humidade implica um aumento da densidade da BFR, mas esta característica tem uma relação inversa com os custos de transporte, pois um peso superior limita a carga total transportada no volume disponível. No entanto, verificou-se que estas questões não são atualmente consideradas pelos operadores florestais. Também o preço pago pelas centrais termoelétricas deveria atender às questões da humidade, uma vez que o poder calorífico do material diminui com o aumento do conteúdo em água.

Tal como foi apresentado na Tabela 4, a biomassa verde (recém abatida) apresenta valores típicos na gama dos 40 a 60% de humidade, enquanto a BFR seca pode atingir um teor de humidade de 20%.

A componente prática da presente dissertação debruçou-se sobre as questões do controlo da humidade, tendo-se acompanhado os processos de secagem da biomassa proveniente de uma pilha construída por um madeireiro, aquando do abate de duas parcelas contíguas em Abril de 2014 (de referência AM3), e da biomassa resultante do abate de um único exemplar de *Eucalyptus globulus* (referência AB10). Foi ainda possível determinar a humidade de BFR deixada em campo na época de abate de 2013, tendo esta estado a secar durante aproximadamente 8 meses.

Para os dois abates monitorizados, verificou-se que a primeira semana de secagem ao ar em laboratório conduz a uma variação considerável do teor de humidade da biomassa, tendo a segunda semana uma contribuição diminuta, quer para amostras inteiras, quer para amostras trituradas (Figura 13 e Figura 18). Quando comparadas as diferenças entre o teor de humidade de amostras trituradas e inteiras, sujeitas a diferentes metodologias de secagem (tratamentos I, T e TD), observou-se que a humidade total era ligeiramente superior para a biomassa que não sofreu trituração e muito semelhante para as amostras trituradas, o que sugere que nesta operação há uma pequena perda de humidade, que não é possível quantificar (Figura 14).

A biomassa resultante do abate de um eucalipto apresentou um teor de humidade de 115% no momento de abate, e próximo dos 30% ao fim de 14 dias de secagem, sendo estes valores relativos à base seca. Quando se avaliam estes dados na base tal e qual verifica-se que correspondem a uma humidade de 50% no momento do abate e 24% após duas semanas de secagem, observando-se que num curto espaço de tempo a biomassa perde uma quantidade considerável do seu conteúdo em água.

Relativamente à BFR resultante do abate efetuado por um madeireiro, verificou-se que nas primeiras duas semanas a humidade reduz-se em 22% (base seca), tendo reduzido cerca de 80% ao fim de 71 dias de secagem ao ar em campo, e apresentando um teor de humidade final, no momento da recolha pelo madeireiro, de cerca de 34% (btq). A discrepância deste valor em relação ao teor de humidade determinado para o eucalipto abatido pode dever-se a questões de escala, dado que a biomassa alocada em pilha conserva um pouco mais da sua humidade devido à quantidade de material que engloba (face à biomassa de um só eucalipto que, mesmo empilhada,

está mais rapidamente sujeita às condições climáticas), bem como à ocorrência de precipitação durante as duas semanas após o abate do eucalipto amostrado, dado que nas duas semanas após a construção da pilha pelo madeireiro não ocorreu precipitação.

Quando se comparam estes valores com o teor de humidade obtido para BFR deixada a secar em campo durante 8 meses (Figura 21), verifica-se um desvio relativo aos resultados das amostras abatidas recentemente, que pode estar relacionado com a altura da amostragem. Ainda nesta comparação, foi analisada a sobreposição das curvas de secagem em análise, tendo-se verificado uma boa sobreposição e uma boa adaptação ao modelo de ajuste desenvolvido.

Para melhor caracterizar a biomassa em análise, e devido à sua relação com a humidade, foi igualmente determinada a densidade destes resíduos através de dois processos: por cubicagem de uma parte da rama inteira, e através de um ensaio de compressão, onde uma quantidade determinada de biomassa foi sujeita à aplicação de uma força conhecida, tendo a variação do volume permitido a determinação da densidade.

Desta forma, pelo processo de cubicagem estimou-se uma densidade aproximada de  $72 \text{ kg.m}^{-3}$  (com humidade de 82%) para a biomassa inteira e não compactada. Já a análise do ensaio de compressão resultou num valor de densidade de  $111 \text{ kg.m}^{-3}$ , para uma humidade de 23%, tendo-se observado que esta grandeza aumenta de forma quase linear com a pressão aplicada, quer à superfície, quer na base, e tende a não variar quando se retira a pressão (Figura 22). De notar também que a primeira carga de BFR deste ensaio se encontrava em condições semelhantes à biomassa utilizada na cubicagem, pelo que a densidade calculada apresenta um valor semelhante,  $64 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Dado a altura da pilha construída pelo madeireiro, é razoável assumir que a biomassa estivesse sujeita a um efeito de compactação devido ao peso do material. Neste sentido, admite-se que o valor de densidade determinado para a BFR sem compactação ( $72 \text{ kg.m}^{-3}$ ) apenas seja válido para as camadas superficiais da pilha, sendo mais aproximado às condições médias desta biomassa o valor determinado no ensaio de compressão. Assim, considera-se que a biomassa de eucalipto alocada na pilha construída por um madeireiro tinha uma densidade média aproximada de  $111 \text{ kg.m}^{-3}$ , tendo-se estimado a quantidade de BFR em 15 toneladas (btq) com uma humidade de 23%.

No entanto, não se pode desprezar a existência de uma quantidade considerável de BFR ainda espalhada no terreno, resultante das limitações da limpeza mecânica. Observou-se que as zonas com maior acumulação de rama eram zonas com declive e/ou zonas junto aos limites do terreno, com o caso particular da biomassa que cai dentro das parcelas vizinhas durante o processamento, o que sugere que a área real de abate (área de queda das árvores) é superior à área da parcela em intervenção. Por estes motivos, não se pode afirmar que os resíduos de abate alocados na pilha representam toda a biomassa da copa da árvore em pé, sendo apenas uma estimativa da quantidade de BFR que foi retirada da floresta.

Estava previsto o apoio de uma central termoelétrica, com a qual seria desenvolvida uma parceria que iria permitir observar e monitorar as condições em que a biomassa seria rececionada

nas instalações da central. Tal veio a ser concretizado com a colaboração com a Central de Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A.

A informação recebida dizia respeito aos valores médios mensais de todas as categorias de material recebido na central, nomeadamente ao nível de peso líquido, humidade e densidade médias. Não foi fornecida informação relativamente à forma de obtenção destes valores médios mensais, sabendo-se que dos dados fornecidos, apenas o peso líquido pode ser linearmente somado, sendo necessários fatores de ponderação para determinar os valores médios globais da densidade e teor de humidade.

Dos valores globais para o ano de 2013 verificou-se que a central recebeu cerca de 103 mil toneladas de material florestal, onde se incluem todas as categorias de material recebido (BEF, bicas bruto biomassa lenhosa, rolaria e estilha), com uma humidade média de 39% e uma densidade média de  $286 \text{ kg.m}^{-3}$ . A variação do peso líquido médio mensal do total de cargas recebidas na central evidencia a influência que a humidade exerce sobre este tipo de material, condicionando a sua densidade. As Figura 28 e Figura 29 apresentam na sua generalidade, o comportamento esperado para estas grandezas, verificando-se a existência de uma exceção no início do ano: a densidade do material recebido em janeiro é muito elevada para o respetivo peso líquido, observando-se que também a humidade apresenta um valor muito elevado. Este desvio sugere que o material rececionado em janeiro não estaria nas condições típicas, mas sim com excesso de água.

Esta situação induz um erro na avaliação da qualidade do material florestal, pois a existência de um teor de humidade elevado diminui o poder calorífico do material, o que diminui o rendimento do processo de combustão, resultando numa maior necessidade de abastecimento da caldeira, e logo da central.

Os dados globais de 2013 permitiram igualmente fazer a análise das distâncias entre a central e os locais de origem dos resíduos de exploração florestal, para duas categorias: *BEF – espécie 26* e *Bicadas Bruto*.

Verificou-se que a biomassa classificada como *BEF 26* totalizou cerca de 36 mil toneladas, provenientes de 94 locais, distribuídos pelas regiões Centro e Norte de Portugal (Figura 33), e com uma capacidade abastecedora muito variável. Na sua maioria, os pesos líquidos totais recebidos de cada localidade foram inferiores a 1000 toneladas, tendo os locais com peso líquido superior a este valor apenas um peso percentual de 8% relativamente ao total. Constatou-se que locais cujo peso líquido total era inferior a 100 toneladas correspondiam a 52% do total recebido, e quando este valor baixava para 50 toneladas o peso percentual era de 29%, evidenciando assim a importância dos locais que originavam cargas médias recebidas nesta central, durante o ano de 2013.

Da avaliação da distância percorrida numa viagem entre a central e os locais de origem, observou-se a existência de um raio de abastecimento de cerca de 60 km existindo, no entanto, pontos de origem cujo afastamento à central ultrapassava os 180 km (caso de Boticas); estes locais assumem um peso percentual de 12% relativamente a toda a biomassa florestal residual (*BEF 26*) recebida, tendo-se verificado casos em o peso líquido transportado era muito pequeno (ex: Pedrogão Pequeno, originou 33 toneladas e dista 154 km da central). Este desfasamento

entre a distância percorrida e o peso líquido total transportado é igualmente visível quando se pondera a distância que separa os dois locais com o número de viagens necessárias para transportar toda a *BEF 26*, podendo igualmente ser atenuado quando o peso líquido é muito elevado, como é o caso de Castelo de Neiva: esta localidade dista 117 km da central, tendo originado no ano de 2013 cerca de 1900 toneladas de *BEF 26*, o que implicou a realização de 71 viagens (apenas de ida), num total de 8307 km percorridos. Contudo, mantém-se associado a este tipo de transporte a grandes distâncias um grau de ineficiência que pode condicionar a viabilidade desta operação. De igual forma se observa que a importância deste local de origem revela a dificuldade na venda destes resíduos.

Não obstante estes casos, a maioria dos locais apresenta uma boa correlação entre o peso líquido transportado e a distância percorrida, tendo-se estimado a distância média percorrida numa viagem para obter uma carga média de 26 toneladas (btq) em 33 km, sendo este valor concordante com a análise percentual efetuada para a distribuição da distância de uma única viagem, que revelou que 41% dos locais de origem dista menos de 40 km da central (Figura 32).

Tal como foi mencionado aquando da análise, a categoria *Bicadas Bruto* não era ainda muito significativa para o normal funcionamento da central durante o ano de 2013, o que se traduz no volume de dados fornecidos. Ainda assim, foram recebidas cerca de 2,7 mil toneladas de biomassa pertencentes a esta categoria, e provenientes de 54 localidades. Na sua maioria, os pesos líquidos variaram entre 10 e 50 toneladas (65%), apresentando os pesos líquidos superiores a 100 toneladas um peso percentual de 15%, num total de oito locais, maioritariamente pertencentes ao concelho de Oliveira de Azeméis (onde se insere a referida central em estudo).

De igual forma, verificou-se que 65% dos locais de origem distavam menos de 20 km da central (uma viagem de ida), e que em apenas 4% dos casos esta distância era superior a 40 km. A ponderação com o número de viagens necessárias para transportar a totalidade da biomassa originada não alterou significativamente esta análise, verificando-se que apenas para a localidade de Vouzela a totalidade de quilómetros percorridos (78km para uma viagem, 310km para todas) era muito elevada face à quantidade de biomassa transportada (36 toneladas). Resulta desta análise que Avanca foi o local que originou maior quantidade de biomassa em 2013, com o transporte de 253 toneladas de *Bicadas Bruto* a provocar um total de 603 km percorridos.

A análise geográfica de locais de origem da biomassa categorizada como *BEF 26* teve uma segunda vertente, com a análise de uma amostra de locais de origem. Na sua maioria, estes locais distam menos de 30 km da central, com a exceção de Ovar e Oliveira de Frades, a 30 e 52 km, respetivamente. Destas localidades, destaca-se S. Vicente Pereira, com um peso líquido total de 5000 toneladas de *BEF 26*, sabendo-se por comunicação pessoal, que a biomassa deste local é sobretudo proveniente de um operador que faz a recolha e trituração de resíduos de abate e exploração florestal, não se conseguindo, portanto, identificar corretamente as manchas florestais de onde esta biomassa é originária.

Os dados desta amostra eram relativos ao número de cargas recebidas de cada local e respetivo peso líquido, conhecendo-se também a humidade, densidade e volume associados. Verificou-se assim um total de biomassa em base tal e qual de 12 mil toneladas, com 38% de humidade, sendo o correspondente valor em base seca cerca de 7 300 toneladas.

Procurou-se desenvolver um modelo de ajuste entre a humidade e o peso líquido da carga, obtendo-se uma expressão que relaciona o peso líquido médio, em base seca, com a humidade da biomassa, tendo-se observado, pela Figura 37, uma boa adaptação do modelo aos dados fornecidos pela central, onde estes apresentam uma dispersão relativamente uniforme em torno da curva do modelo. No entanto, foi necessário impor uma condição a este modelo, limitando a humidade a valores inferiores a 50%, dado que observações na central revelaram que muitas vezes este teor de humidade é indutor de erros pois a biomassa chega molhada, e portanto com um enviesamento relativamente ao valor de densidade. Porém, esta situação não é observada para os dados fornecidos relativos à densidade, verificando-se que estes apresentavam igualmente uma boa correlação com a humidade.

Da análise de uma outra amostra, relativa à distribuição de humidades dos totais de carga transportados pelos principais fornecedores, observou-se que a biomassa recebida na central apresenta teores de humidade na gama dos 11 aos 65%. Os totais de cargas mais frequentes foram obtidos para humidades próximas dos 40%, com as cargas de baixa humidade (inferior a 20%) e de alta humidade (superior a 55%) a apresentarem baixas frequências (Figura 40 e Tabela 24).

## 7. Bibliografia

- :: Portal das Energias Renováveis :: (n.d.). Retrieved March 10, 2014, from [http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID\\_conteudo=3&ID\\_area=2&ID\\_sub\\_area=2](http://www.energiasrenovaveis.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=3&ID_area=2&ID_sub_area=2)
- Comissão Técnica de Normalização 145/IPQ. (2004). Código de Boas Práticas para uma Gestão Florestal Sustentável - NP 4406/2003. *Norma Portuguesa (NP4406/2003) - Sistemas de Gestão Florestal Sustentável. Aplicação Dos Critérios Pan-Europeus Para a Gestão Florestal Sustentável.*
- CTT. (2015). Códigos Postais. Retrieved February 26, 2015, from [http://www.ctt.pt/feapl\\_2/app/open/postalCodeSearch/postalCodeSearch.jsp;jsessionid=D1g4SPfYeRVzHq63-twxmg\\_\\_.si\\_part6\\_node2#postalCodeSearchPanel](http://www.ctt.pt/feapl_2/app/open/postalCodeSearch/postalCodeSearch.jsp;jsessionid=D1g4SPfYeRVzHq63-twxmg__.si_part6_node2#postalCodeSearchPanel)
- Cundiff, J. S., Grisso, R. B., & Ravula, P. P. (2004). Management System for Biomass Delivery at a Conversion Plant, *0300(046169)*.
- Decreto-Lei n.º 179/2012, de 3 de Agosto. (2012). *Diário Da República N.º 150, Série I.*
- Decreto-Lei n.º 5/2001, de 10 de Janeiro. (2011). *Diário Da República N.º 6, Série I.*
- Esteban, L. S., & Carrasco, J. E. (2011). Biomass resources and costs: Assessment in different EU countries. *Biomass and Bioenergy*, *35*, S21–S30. doi:10.1016/j.biombioe.2011.03.045
- European Committee for Standardization. (2004). CEN/TS 14774-1: Solid Biofuels - Methods for Determination of Moisture Content - Oven Dry Method - Part 1: Total Moisture - Reference Method.
- Fabião, A. M. D. (1986). *Contribuição para o Estudo da Dinâmica da Biomassa e da Produtividade Primária Líquida em Eucaliptais: Região Litoral do Centro de Portugal*. Instituto Superior de Agronomia - Universidade Técnica de Lisboa.
- Ferreira, S., Moreira, N., & Monteiro, E. (2009). Bioenergy overview for Portugal. *Biomass and Bioenergy*, *33*, 1567–1576. doi:10.1016/j.biombioe.2009.07.020
- Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento (Ed.). (2007). *Pinhais e Eucaliptais: A Floresta Cultivada*. Lisboa.
- G.E. (2006). GE Protimeter Balemaster GRN6160 - User Instructions.
- ICNF. (2013a). *IFN6 - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal continental em 1995, 2005 e 2010. Resultados preliminares*. Lisboa.
- ICNF. (2013b). *IFN6 - Termos e Definições*. Lisboa.

- Judd, J. D., Sarin, S. C., & Cundiff, J. S. (2012). Design, modeling, and analysis of a feedstock logistics system. *Bioresource Technology*, 103(1), 209–18. doi:10.1016/j.biortech.2011.09.111
- Lei n° 33/1996, de 17 de Agosto. (1996). *Diário Da República N° 190, Série I-A*, (Lei de Bases da Política Florestal).
- Lopes, M., Rafael, S., Tarelho, L., Ribeiro, I., Miranda, A., & Borrego, C. (2013). Valorização energética de biomassa e uso sustentável da floresta - Biomass to energy and sustainable use of forest. In *II Conferência de PRU, VIII ENPLAN e XVIII Workshop APDR: "Europa 2020: retórica, discursos, política e prática."* Aveiro.
- Pitman, R. M. (2006). Wood ash use in forestry - A review of the environmental impacts. *Forestry*, 79(5), 563–588. doi:10.1093/forestry/cpl041
- Publicações GIMREF. (2007a). *Inventariação de Recursos Florestais - Caracterização e Monitorização de Povoamentos e Matos - Vol. II*. (M. Tomé, Ed.) *Textos pedagógicos do GIMREF, TP* (Vol. II). Lisboa: Centro de Estudos Florestais - ISA/UTL.
- Publicações GIMREF. (2007b). *Inventariação de Recursos Florestais - Introdução à Inventariação e Monitorização de Recursos Florestais - Vol. I*. (M. Tomé, Ed.) *Textos pedagógicos do GIMREF, TP* (Vol. I). Lisboa: Centro de Estudos Florestais - ISA/UTL.
- Racius. (n.d.). Central Termoeléctrica de Biomassa de Terras de Santa Maria, S.A. Retrieved June 14, 2014, from <https://www.racius.com/central-termoelectrica-de-biomassa-de-terras-de-santa-maria-s-a/>
- Resolução do Conselho de Ministros n° 114/2006, de 15 de Setembro. (2006). *Diário Da República N° 179, Série I*, (Estratégia Nacional para as Florestas (ENF)).
- Resolução do Conselho de Ministros n° 20/2013, de 10 de Abril. (2013). *Diário Da República N° 70, Série I*, (PNAER).
- Resolução do Conselho de Ministros n° 6-B/2015, de 4 de Fevereiro. (2015). *Diário Da República N° 24/2015, 1º Suplemento, Série I*, (Estratégia Nacional para as Florestas (ENF) - Revisão).
- Rodrigues, V. P. (2009). *Análise de custos para diferentes soluções de transporte de biomassa florestal*. Departamento de Eng. Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Santos, F. (1999). *Controlo de Matos em Áreas Florestais*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).
- Sharma, B., Ingalls, R. G., Jones, C. L., & Khanchi, a. (2013). Biomass supply chain design and analysis: Basis, overview, modeling, challenges, and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 608–627. doi:10.1016/j.rser.2013.03.049

# Anexos



## **Anexo I - Nomenclatura utilizada no 6º Inventário Florestal Nacional**

(adaptado dos relatórios preliminares do IFN6 (ICNF, 2013a, 2013b))

### *Ocupação do solo*

Corresponde à cobertura (bio)física da superfície terrestre.

### *Uso do solo*

O uso do solo é baseado na dimensão funcional da terra para diferentes propósitos ou atividades económicas. O uso do solo é definido pela organização espacial, atividades e ações que os seres humanos efectuam em determinado(s) tipo(s) de ocupação do solo.

### *Mancha*

Uma mancha representa uma superfície de terreno que é classificada como pertencente a uma determinada classe de uso/ocupação do solo. Para qualquer uso do solo ou ocupação do solo, consideram-se como valores mínimos de dimensão e forma para a mancha homogénea a classificar uma área maior ou igual a 5000 m<sup>2</sup> (i.e., 0,5 ha) e largura não inferior a 20 m.

### *Grau de coberto*

Razão entre a área da projeção horizontal das copas das árvores e a área total da superfície de terreno, expresso em percentagem.

## Relativamente aos usos do solo

### *Floresta*

Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, onde se verifica a presença de árvores florestais que tenham atingido, ou que pelas suas características ou forma de exploração venham a atingir, uma altura superior a 5 m, e cujo grau de coberto seja maior ou igual a 10%.

Inclui:

Superfícies temporariamente desarborizadas, cumprindo os valores mínimos de dimensão e forma, e para as quais é razoável considerar que estarão regeneradas dentro de 5 anos, designadamente: áreas florestais ardidas recentes, ou áreas de corte único, resultantes de ações de gestão florestal ou de desastres naturais.

Áreas ocupadas por vegetação espontânea que anteriormente se encontravam ocupadas por povoamentos e nas quais é razoável admitir a sua regeneração natural.

Quebra-ventos, cortinas de abrigo ou alinhamentos de árvores, desde que cumpram os valores mínimos de dimensão e forma.

Estradas florestais, aceiros e arrifes, corta-fogos, faixas de gestão de combustível ou clareiras com área menor que 0,5 ha ou largura inferior a 20 m, quando integrados em manchas com mais de 0,5 ha e 20m de largura.

Os povoamentos jovens (de sementeira ou plantação), que no futuro atingirão uma percentagem de pelo menos 10% de coberto e uma altura superior a 5 metros;

Montados de sobro e azinho que cumpram a definição de floresta independentemente do sob-coberto que apresentem;

Povoamentos de pinheiro-manso, alfarrobeira ou castanheiros, mesmo quando o seu principal objetivo da sua condução silvícola é a produção de fruto.

Árvores mortas em pé

#### *Agricultura*

Terrenos ocupados por culturas agrícolas incluindo todas as culturas temporárias ou perenes, assim como as terras em pousio (i.e. terras deixadas em repouso durante um ou mais anos, antes de serem cultivadas novamente).

#### *Matos*

Terreno, com área maior ou igual a 0,5 hectares e largura maior ou igual a 20 metros, onde se verifica a ocorrência de vegetação espontânea composta por matos (por ex.: urzes, silvas, giestas, tojos) ou por formações arbustivas (ex.: carrascais ou medronhais espontâneos) com mais de 25% de coberto e altura superior a 50 cm. As árvores eventualmente presentes têm sempre um grau de coberto inferior a 10%, podendo estar dispersas, constituindo bosquetes ou alinhamentos. Os matos com altura superior a 2 m são designados por matos altos. Exclui vegetação espontânea em zonas húmidas.

#### *Pastagens*

Terreno ocupado com vegetação predominantemente herbácea, semeada ou espontânea, destinada a pastoreio *in situ*, mas que acessoriamente pode ser cortada em determinados períodos do ano.

Inclui:

Pastagens regadas ou de sequeiro.

Pastagens de montanha (incluindo lameiros e pastagens de alta montanha).

Superfícies de terreno com vegetação típica da classe matos, mas cujo grau de coberto está entre 10% e 25% ou cuja altura média é inferior a 0,5m.

Exclui:

As áreas ocupadas com matos e/ou herbáceas identificadas como pousio.

As áreas ocupadas com pastagens identificadas como integrantes duma rotação de cultura temporária-pastagem.

Vegetação espontânea em zonas húmidas.

Superfícies cobertas de herbáceas, como locais de recreio ou outros, nomeadamente golfs, relvados, campos de futebol, ou áreas envolventes de aeroportos.

#### *Improdutivos*

Terreno estéril do ponto de vista da existência de comunidades vegetais ou com capacidade de crescimento muito limitada, com grau de coberto vegetal inferior a 10%, quer em resultado de limitações naturais, quer em resultado de ações antropogénicas.

#### *Águas Interiores e Zonas Húmidas*

Terreno coberto ou saturado de água durante a totalidade, ou uma parte significativa, do ano.

#### *Urbano*

Terreno edificado com construções efetuadas pelo Homem (prédios, casas, armazéns, estradas, pavimentos artificiais, etc.), integradas em grandes ou pequenos aglomerados urbanos ou isoladamente. Pode incluir terrenos ocupados com vegetação cujo uso não se considera florestal ou agrícola.

### Relativamente às ocupações florestais

#### *Povoamentos Florestais*

A mesma definição de floresta, mas excluindo os terrenos correspondentes a cortes únicos, povoamentos ardidos e áreas em regeneração.

#### *Cortes*

Terreno, anteriormente ocupados por um povoamento florestal, e que devido ao corte das árvores está ocupado por cepos e/ou vegetação rasteira não significativa. Incluem-se os cortes extraordinários para remoção de árvores afetadas por agentes abióticos (ventos, neve, etc.) ou bióticos (incêndios, pragas). Pressupõe-se a sua regeneração como povoamento em menos de 5 anos.

*Ardidos*

Povoamento florestal que devido à passagem de um incêndio está maioritariamente ocupado por árvores queimadas. Pressupõe-se a sua regeneração em menos de 5 anos.

*Regeneração*

Terrenos anteriormente ocupados por povoamentos florestais e que se encontram ocupados por vegetação espontânea, nos quais se pressupõe a sua regeneração em 5 anos.

## Anexo II – Tabela com uma Síntese da Informação Obtida no acompanhamento do Processo de Abate de Eucaliptos

Ref.	Lat./Long.	Recolha Rama	Estado Rama	Estado Terreno / plantação	Área G. Earth [ha ]
<b>AM1</b>	40° 42' 05.60" N 8° 31' 37.00" W	não	Empilhada; velha/seca	Abate em Agosto 2013; terreno não perturbado; eucaliptos novos com 1,0m	1,53
<b>AM3</b>	40° 42' 21.89" N 8° 32' 18,47" W	sim	Empilhada na estrada; verde	Abate em Abril 2014; terreno com restos de rama; pilha junta rama das duas parcelas	0,21
<b>AB1</b>	40° 42' 24.37" N 8° 32' 22.48" W	não	Empilhada; velha/seca	terreno não perturbado; eucaliptos novos com 1,5m	0,23
<b>AB2</b>	40° 42' 22.91" N 8° 32' 21.30" W	parcial	Empilhada na estrada; seca	terreno não perturbado; eucaliptos novos com 0,7m	0,56
<b>AB3</b>	40° 42' 22.78" N 8° 32' 09.96" W	não	Espalhada no terreno; seca	Abate em 2013; terreno não perturbado; eucaliptos rebentados	0,06
<b>AB4</b>	40° 42' 14.93" N 8° 32' 13.30" W	não	Espalhada no terreno; verde	Abate em Maio 2014; terreno não perturbado; socialcos com cepos/ eucaliptos não rebentados;	0,22
<b>AB5</b>	40° 42' 36.37" N 8° 31' 49.43" W	sim	Recolha total	Abate em 2013; eucaliptos com ~2m	0,34
<b>AB6</b>	40° 42' 39.23" N 8° 31' 41.81" W	parcial	Empilhada; seca	Abate em 2013; eucaliptos com ~2m	1,68
<b>AB7</b>	40° 42' 39.98" N 8° 31' 33.58" W	sim	Recolha total	Abate em Julho 2013; eucaliptos com ~1,5m	0,31
<b>AB8</b>	40° 42' 26.69" N 8° 32' 10.82" W	parcial	Recolha parcial	Abate em Maio 2014; eucaliptos não rebentados	0,21
<b>AB9</b>	40° 42' 28.02" N 8° 32' 09.06" W	não	Espalhada no terreno; muito seca	Abate em Abril 2014; eucaliptos não rebentados	0,21
<b>AB10</b>	40° 42' 19.73" N 8° 3' 07.57" W	sim	Recolha total	Abate em Julho 2013; eucaliptos com ~1,5m	0,17
<b>AB11</b>	40° 42' 18.11" N 8° 32' 05.18" W 8° 31' 35,45" W	parcial	Recolha parcial	Abate em 2013 Eucaliptos com 2,5m	0,12

Ref.	Lat./Long.	Recolha Rama	Estado Rama	Estado Terreno / plantação	Área G. Earth [ha ]
<b>AB12</b>	40° 42' 31.07" N 8° 32' 0.46" W	não	Espalhada pelo terreno; velha	Abate em 2013; eucaliptos com 2m	0,31
<b>AB13</b>	40° 42' 35.99" N 8° 31' 54.18" W	não	Espalhada pelo terreno	Abate em Abril/Março2014; eucaliptos não rebentados;	0,43
<b>AB14</b>	40° 42' 31.85" N 8° 31' 46.28" W	parcial	Recolha parcial	Abate em Abril 2014; eucaliptos não rebentados	0,91
<b>AB15</b>	40° 42' 16.49" N 8° 31' 24.55" W	parcial	Empilhada na estrada; velha/ seca	Abate em 2013; eucaliptos com 3m	0,30
<b>AB16</b>	40° 41' 55.12" N 8° 31' 28.61" W	sim	Recolha total	Abate em 2013 eucaliptos com 3m	1,40
<b>AB17</b>	40° 42' 17.29" N 8° 31' 41.87" W	sim	Recolha total	Abate em 2013; eucaliptos com 2m	1,51
<b>AB18</b>	40° 42' 18.04" N 8° 31' 45.17" W	não	Espalhada pelo terreno; seca/velha	Abate em 2013 eucaliptos com 3m	0,82
<b>AB19</b>	40° 42' 17.27" N 8° 31' 35,45" W	não	Espalhada pelo terreno; seca/velha	Abate em 2013 eucaliptos com 2,5m	0,17