

DEMGi – Departamento de Engenharia Mecânica e
Gestão Industrial

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

DEMEC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

*Peletes de *Acácia dealbata**

Uma oportunidade bioenergética?



Viseu, edição 2009 / 2011

Carla Silva nº 11019

MEMGI- Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Edição 2009/2011



Peletes de Acácia dealbata

Uma oportunidade bioenergética?

Trabalho referente a disciplina de Dissertação do 2º ano e 2º semestre do Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, na edição 2009/2011.

Orientado por:

Carlos Manuel Coutinho Tavares de Pinho

João Luís Monney de Sá Paiva

Realizado pela aluna:

Carla Hermenegilda Fidalgo da Silva

Viseu, edição do Mestrado de 2009 / 2011



“O verdadeiro Mestre não é aquele que tem mais discípulos, mas aquele que forma mais Mestres. O verdadeiro líder não é aquele que tem mais seguidores, mas aquele que forma mais líderes. O verdadeiro rei não é aquele que tem mais súbitos, mas aquele que confere dignidade real a mais pessoas. O verdadeiro professor não é aquele que tem mais conhecimento, mas aquele que o transmite a mais alunos.”

*Conversas com Deus – volume 1 – Neale Donald
Walsch*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os “Mestres” que encontrei ao longo da vida. Todos me ensinaram algo que eu espero saber aplicar nos momentos decisivos da minha vida.

Às pessoas que me ensinaram algo que não sei aplicar humildemente peço desculpas, nem tudo o que nos ensinam somos capazes de aplicar.

A realização de uma dissertação é um trabalho solitário a que todos nos encontramos obrigados, no entanto, deve-se agradecer o contributo de várias pessoas. Durante a realização deste mestrado, tive o apoio de algumas pessoas, pelo que gostaria de aqui deixar um agradecimento profundo e sentido:

- À minha mãe, Maria Hermenegilda Dias Fidalgo da Silva – por todo o apoio que me deu, especialmente nos momentos em que não foi tão fácil;
- Ao meu colega João Sobral – pelo debate de ideias e pelo apoio logístico prestado em várias ocasiões;
- A todos os professores deste mestrado, pelos ensinamentos partilhados e incentivos à realização do mesmo;
- Agradeço especialmente aos orientadores desta dissertação o Dr. Carlos Pinho e o Dr. João Luís Paiva – por todo o apoio prestado, com a apresentação de leituras, sugestões e críticas construtivas que fizeram desta dissertação o que se apresenta;
- Agradeço também ao Mestre Edmundo Manuel Tavares Marques e ao Doutor José Manuel Neto Salgueiro Marques pela disponibilização de equipamentos e apoio e ensinamentos sobre a sua utilização.



“Existe uma obra de arte que nos foi destinada a criar. Ela é o ponto central de nossa vida, e - por mais que tentemos nos enganar - sabemos como é importante para a nossa felicidade. Geralmente esta obra de arte está coberta por anos de medos, culpas, indecisões. Mas, se decidirmos tirar essas aparas, se não duvidarmos da nossa capacidade, somos capazes de levar adiante a missão que nos foi designada.

E esta é a única maneira de viver com honra.”

Maḳṭub – Paulo Coelho

RESUMO

Com as exigências financeiras que Portugal tem de enfrentar, a redução da importação de recursos energéticos é um dos imperativos do ponto de vista económico e energético. Pode também encarar-se como uma oportunidade de valorização de recursos com pouca aplicação, desenvolvendo novas fontes energéticas e comerciais.

Este trabalho tem por objetivo a criação de peletes de biomassa utilizando espécies com conotação de infestantes como a *Acácia dealbata* e as cascas de frutos secos.

Existem características importantes e que têm de se assegurar nos peletes. Assim, as características do material de base que interferem na qualidade dos peletes são a humidade, a força aplicada, a composição e a distribuição de partículas. Para os peletes, como matéria com interesse comercial, o importante é a humidade, a durabilidade mecânica e o quociente entre o comprimento e o diâmetro.

Para testar a *Acácia dealbata* e as cascas de frutos secos, várias misturas foram criadas. Os peletes obtidos, são testados de forma a obter-se valores referentes à durabilidade mecânica, humidade e quociente entre o comprimento e o diâmetro.

Os resultados obtidos apresentam um valor que permite a valorização industrial dos peletes produzidos. No entanto, estas matérias-primas podem ser mais estudadas posteriormente, desenvolvendo uma composição que permita a produção de peletes para uso doméstico.

PALAVRAS-CHAVE

Acácia dealbata, Cascas de frutos secos, Peletes, Durabilidade mecânica



“Embedded in every technology there is a powerful idea, sometimes two or three powerful ideas. Like language itself, a technology predisposes us to favor and value certain perspectives and accomplishments and to subordinate others. Every technology has a philosophy, which is given expression in how the technology makes people use their minds, in how it codifies the world, in which of our senses it amplifies, in which of our emotional and intellectual tendencies it disregards.”

The End of Education – Neil Postman

ABSTRACT

With the financial demands that Portugal has to face, reducing the import of energy resources is one of the imperatives of the economic and energetic point of view. This can also be seen as an opportunity of valorization of resources with little application, developing new energy and trade sources.

This dissertation aims the creation of biomass pellets using species with the connotation of weed such as *Acacia dealbata* and nutshells.

There are important characteristics that have to be assured. The base material characteristics that affect the quality of the pellets are the moisture, the applied force, the composition and the particles distribution. For pellets, as a matter of commercial interest, the important thing is moisture, mechanical durability and the ratio between the diameter and the length.

To test the *Acacia dealbata* and the nutshells, various blends were created. The pellets obtained were tested to obtain values for the mechanical durability, moisture and ratio between length and diameter.

The results show a value that allows the industrial use of the pellets produced. However, these raw materials can be further studied later, developing a composition that allows the production of pellets for domestic use.

KEY WORDS

Acacia dealbata, Nutshells, Pellets, Mechanical durability

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Palavras-chave	iii
Abstract	iv
Key Words	iv
Índice	v
Índice de Equações	vi
Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Nomenclatura, Símbolos em Fórmulas e Unidades	ix
Nomenclatura	ix
Símbolos em Fórmulas	ix
Unidades	x
1 Objectivos	1
2 Introdução	2
2.1 Protocolo de Quioto	7
2.2 Política Ecológica / Energética Europeia	8
2.3 Peletes de Biomassa	9
2.3.1 <i>Recolha do Material e Transporte</i>	13
2.3.2 <i>Armazenagem</i>	14
2.3.3 <i>Limpeza</i>	15
2.3.4 <i>Destroçamento</i>	15
2.3.5 <i>Secagem</i>	16
2.3.6 <i>Torrefacção</i>	21
2.3.7 <i>Peletização</i>	24
2.3.8 <i>Arrefecimento</i>	25
2.3.9 <i>Remoção de Finos</i>	25
2.3.10 <i>Distribuição</i>	26
2.4 <i>Acácia dealbata</i>	28
2.5 Cascas de Frutos Secos	31
3 Procedimentos Metodológicos	33
3.1 Recolha do Material	35
3.2 Destroçamento da Biomassa	36
3.3 Secagem da <i>Acácia dealbata</i>	37
3.4 Caracterização do Material de Base	38
3.5 Peletes de Compressão Pura	41
3.6 Peletização Industrial	45



3.7	Testes Efetuados aos Peletes	48
3.7.1	<i>Durabilidade Mecânica</i>	49
3.7.2	<i>Dimensões dos Peletes Industriais</i>	51
3.7.3	<i>Massa Volúmica Aparente / Massa Volúmica da Amostra</i>	53
3.7.4	<i>Humidade dos Peletes Industriais</i>	54
4	Resultados Obtidos	55
5	Conclusões	56
6	Bibliografia	57

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação	1	-	Equação para o cálculo do teor de humidade.....	5
Equação	2	-	Equação para o cálculo da massa volúmica aparente.....	26
Equação	3	-	Equação para o cálculo do volume de um cilindro.....	26
Equação	4	-	Equação para o cálculo da massa volúmica de cada pelete.....	26
Equação	5	-	Equação dendrométrica para estimar o peso de <i>Acácia dealbata dealbata</i> para o conselho de Viseu.....	30
Equação	6	-	Equação dendrométrica para estimar a altura da <i>Acácia dealbata dealbata</i> para o conselho de Viseu.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	O Ciclo do Carbono. (What is carbon cycle, 2011)	4
Figura 2:	Fotografia de floração de Mimososa (Burncoose, 2011).....	5
Figura 3:	Frutos secos com casca (Gravata e Saltos Altos, 2009).....	6
Figura 4:	Ciclo de utilização da biomassa para a produção de energia. (El Bassam, 2010).....	9
Figura 5:	Peletes (Patervis, 2010).....	9
Figura 6:	Exemplo de uma fábrica de peletes. (HAAS, 2003)	13
Figura 7:	Esquema de um secador tubular. (WUSTL, 2011)	17
Figura 8:	Fotografia de um secador de tambor (Northstone Materials, 2011).....	18
Figura 9:	Esquema da secagem em tapetes (Schmitt Enertec, 2010).....	19
Figura 10:	Princípio de funcionamento de um secador de baixa temperatura (Oberberger & Thek, 2010)	20
Figura 11:	Começando com a biomassa lenhosa, efectua-se a torrefacção, obtendo-se o BioCarvão fazendo-se posteriormente a peletização, obtendo uma forma de energia mais elevada. (Colophon, 2005).....	22

Figura 12: Nesta representação pode visualizar-se as várias fases da combustão da madeira: 1 – Aquecimento do Combustível; 2 – Secagem do Combustível 3 – Decomposição; 4 - Gaseificação do Combustível sem Água; 5 – Gaseificação do Carbono Sólido; 6 - Oxidação dos Gases Combustíveis. A azul encontra-se representada a parte desta reação que necessita de energia (reação endotérmica) e a vermelha a que fornece energia (reação exotérmica) (IST et al., 2004).	23
Figura 13: Representação de uma peletizadora plana (esquerda) e de anel (direita) (CTC, 2011)	24
Figura 14: Figura de um ramo florido de <i>Acácia dealbata</i> (Antique maps, 2011)	28
Figura 15: Alguns frutos secos. A – Avelã; B – Pecan; C – Amendoim; D - Macadamia; E – Amêndoa; F – Castanha do Brasil; G – Castanha; H – Kukui; I – Caltrop; J – Noz. (Armstrong, 2009)	31
Figura 16: Moinho de martelos GKLC-19PK2010	33
Figura 17: Fotografia da matriz plana de peletização	34
Figura 18: Esquema de funcionamento de um moinho de martelos (Feedmachinery.com, 2004)	36
Figura 19: Estufa solar, com indicação do local de colocação do material a secar.	37
Figura 20: Fotografia de um peneiro e do equipamento de Retsch AS200 Control (Alibaba, 1999). (Retsch, n.d.)	38
Figura 21: Representação gráfica da distribuição de granulométrica das partículas, em massa ponderada.	40
Figura 22: Máquina INSTRON Universal Testing Machine, a consola e esquema do equipamento para produção de peletes de compressão pura.	42
Figura 23: Representação gráfica da aplicação de carga em função do tempo.	43
Figura 24: Fotografias dos peletes de compressão pura.	44
Figura 25: Representação gráfica dos valores médios do comprimento dos peletes de compressão pura obtidos para diferentes misturas e cargas aplicadas. Encontra-se também representado o desvio padrão máximo e mínimo.	45
Figura 26: Matriz com os roletes colocados. São os roletes que efectuam a compressão da madeira. Várias matrizes com diferentes diâmetros, que se utilizam para criar peletes com diâmetros diferentes. (Agico Group, 2008)	45
Figura 27: Nesta figura temos as fotografias dos peletes de 100 % de <i>Acácia dealbata</i> , com humidade de 23% e 33 % b. h.	46
Figura 28: Peletes de 80% de <i>Acácia dealbata</i> 20 % de Casca de Avelã e 60 % de <i>Acácia dealbata</i> 40 % de Casca de Avelã.	47
Figura 29: Peletes de 50 % de <i>Acácia dealbata</i> 50 % de <i>Pinus pinaster</i> e de 40 % <i>Acácia dealbata</i> 60 % de Casca de Avelã.	47
Figura 30: Peletes de 100% de Casca de Avelã.	47
Figura 31: Dispositivo para efetuar os testes de durabilidade mecânica de acordo com a norma ASAE S269.4 (Temmerman et al., 2006)	49
Figura 32: Durabilidade mecânica para as várias misturas. A vermelho o limite de 90 %, abaixo do qual os peletes não têm qualquer utilização. Para aplicações domésticas, os peletes têm de ter uma durabilidade mecânica mínima de 97,5 (linha a verde). Os valores entre 90 e 97,5 têm utilização industrial.	50
Figura 33: Representação do comprimento dos peletes em função da mistura que os constituem.	51
Figura 34: Representação do quociente entre o comprimento e o diâmetro. A vermelho encontra-se representado o valor limite de 5.	52
Figura 35: Comparação gráfica entre a massa volúmica da partícula e a massa volúmica aparente para as várias misturas. Para o caso da massa volúmica da partícula apresenta-se o valor médio e desvio padrão máximo e mínimo.	53
Figura 36: Representação gráfica da humidade dos peletes, em percentagem na base húmida.	54
Figura 37: Forma das partículas de <i>Acácia dealbata</i> destrocada. Estas têm uma forma alongada, com uma dimensão (a preto) superior à outra (a vermelho).	55



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de especificações normativas dos peletes de acordo com a norma CEN / TS 14961 : 2005 : E (CEN, 2005) (Alakangas et al., 2006)	10
Tabela 2: Composição química da biomassa em percentagem de massa de combustível seco com cinzas (Demirbas, 2007).	32
Tabela 3: Análise estrutural das cascas de frutos secos (Demirbas, 2003).	32
Tabela 4: Tabela com o peso em gramas que ficou retido em cada peneiro.	39
Tabela 5: Caracterização das misturas.	41
Tabela 6: Tabela de percentagem de teor mássico de finos e percentagem de peletes produzidos.	46
Tabela 7: Valores médios e desvio padrão para a massa e diâmetro das amostras dos peletes industriais.	52



NOMENCLATURA, SÍMBOLOS EM FÓRMULAS E UNIDADES

NOMENCLATURA

b. h.	–	Base húmida (wet basis)
b. s.	–	Base seca (dry basis)
Biocarvão	–	Biomassa lenhosa torrada
Bioenergia	–	Energia proveniente da biomassa
Biomassa	–	Todos os produtos ou fração de produtos biodegradáveis. Energia solar armazenada sob a forma de energia química nas plantas e/ou animais.
DIN	–	Norma Alemã de Padronização (Deutsches Institut für Normung)
GEE	–	Gases com Efeito de Estufa (Greenhouse Gases)
ISO	–	Organização Internacional de Padronização (International Organization for Standardization)

SÍMBOLOS EM FÓRMULAS

D	–	Diâmetro (em metros)
dap	–	Diâmetro a altura do peito (em metros)
db	–	Diâmetro na base (em metros)
L	–	Comprimento (em metros)
m	–	Massa (em quilogramas)
M	–	Teor de humidade na base mássica (b. h.) (em percentagem)
V	–	Volume (em metros cúbicos)
π	–	Constante Pi ($\approx 3,14159$)
ρ	–	Massa Volúmica (em kg/m^3)
h	–	Altura



UNIDADES

ha	–	Hectare $\equiv 10\,000\text{ m}^2$
m/m %	–	Percentagem em massa
min	–	Minuto
t	–	Tonelada $\equiv 1000\text{ kg}$
vol %	–	Percentagem em volume



“First, have a definite, clear practical ideal; a goal, an objective. Second, have the necessary means to achieve your ends; wisdom, money, materials, and methods. Third, adjust all your means to that end.”

Aristotle

1 OBJECTIVOS

Este trabalho tem como principal objetivo estudar um material de base para a produção de peletes que não tenha utilizações com as quais tenha de competir. Para isso, torna-se imprescindível o respeito de aspetos importantes do ponto de vista energético como o Protocolo de Quioto, a Política Ecológica / Energética Europeia e os Peletes de Biomassa.

Considerando as fontes de biomassa existentes e as suas aplicações atuais, devem eliminar-se à partida as fontes de biomassa com utilizações estabelecidas e comercialmente viáveis como o pinheiro (com utilização atual para a produção de madeira e pasta de papel) e o eucalipto (que neste momento é produzido com vista a produção de pasta de papel). Considerando as fontes com pouca ou nenhuma utilização comercial, logo disponíveis para valorização energética, escolheu-se estudar a *Acácia dealbata* e as cascas de frutos secos.

Estas fontes de biomassa não têm aplicação conhecida, nem se encontram desenvolvidos estudos sobre a sua aplicabilidade energética. Assim, convém efetuar a sua caracterização, para que se possa fundamentar a escolha/opção da produção de peletes de *Acácia dealbata* com cascas de frutos secos.

Os peletes são uma forma densificada de biomassa recente, mas devem obedecer a padrões de qualidade. Para averiguar a viabilidade destas matérias-primas para a produção de peletes testaram-se diferentes teores de *Acácia dealbata* e de casca de avelã. Os testes exigidos pela norma CEN / TS 14961 indicam a existência de características como a durabilidade mecânica que deverá ter um valor mínimo que tem de se obter para conseguir peletes de qualidade.



*“Todo o nosso conhecimento tem a sua origem nas
nossas percepções”*

Leonardo da Vinci

2 INTRODUÇÃO

A existência de défice indica que se tem um orçamento com saldo negativo, o que ocorre quando os gastos ou despesas superam os ganhos ou receitas. Geralmente, quando se está a equacionar o défice de um país, devem entrar em consideração as transações comerciais com o resto do mundo (exportações e importações), as transferências de serviços e as chamadas transferências unilaterais (doações).

O défice orçamental é um mecanismo anticíclico de equilíbrio em política económica, mantendo a economia em oscilação. Assim, um dos objetivos dos países industrializados é aumentar as suas exportações.

Em países como Portugal, um fator muito importante na balança comercial exterior é a importação de petróleo e seus derivados, já que não existe qualquer produção daquela matéria-prima. Este é o material de base para a maior parte da energia utilizada em muitos sectores industriais, pelo que interessa essa reduzir a dependência dessa fonte energética.

Uma possibilidade de redução da importação do petróleo, passa pela produção de formas alternativas de energia, valorizando fontes disponíveis no país e ainda não exploradas.

No caso português, a valorização dos recursos energéticos passa pelo aproveitamento da energia eólica, com o alargamento dos parques eólicos; a criação de novas barragens para o aproveitamento hídrico e o aproveitamento da biomassa existente para a produção de energia. Deverá também equacionar-se um maior aproveitamento da energia solar, uma vez que se tem grande intensidade luminosa em Portugal, mas pouca valorização.

Biomassa (para desfazer equívocos), é uma definição que advém das necessidades energéticas e que contabiliza todos os produtos ou fração de produtos biodegradáveis, a considerar: desperdícios e resíduos agrícolas (incluindo substâncias vegetais e animais), da aquacultura, da floresta e de indústrias relacionadas e ainda a fração biodegradável dos desperdícios municipais como lixo urbano e esgotos. A biomassa pode apresentar-se sob diversas formas físicas, e pode auxiliar a revitalização da agricultura e floresta, levando à estimulação da economia.

A biomassa tem os benefícios que se podem sintetizar na seguinte tabela:

Impactos Económicos	Sustentabilidade Aumento do número de trabalhos rurais Aumento das receitas provenientes dos impostos Aumento do investimento em equipamentos Desenvolvimento rural Competitividade internacional Redução da dependência de petróleo importado
Impactos Ambientais	Redução dos gases com efeito de estufa Redução da poluição atmosférica Melhoria na utilização da terra e água Sequestro de carbono
Segurança Energética	Objetivos internos Garantia de fornecimento Redução da utilização de combustíveis fósseis Disponibilidade Distribuição interna Renovabilidade

Tabela 1: Benefícios da Biomassa (Demirbas, 2009)

A biomassa é um termo recente, no entanto a sua utilização data de há longo tempo, uma vez que a madeira é utilizada para cozinhar e aquecimento desde os primórdios da humanidade. Considera-se biomassa a energia solar armazenada sob a forma de energia química. Este armazenamento é efetuado pela fotossíntese durante o crescimento de plantas e árvores.

A fotossíntese é uma reação que converte dióxido de carbono em matéria orgânica (Demirbas, 2009).

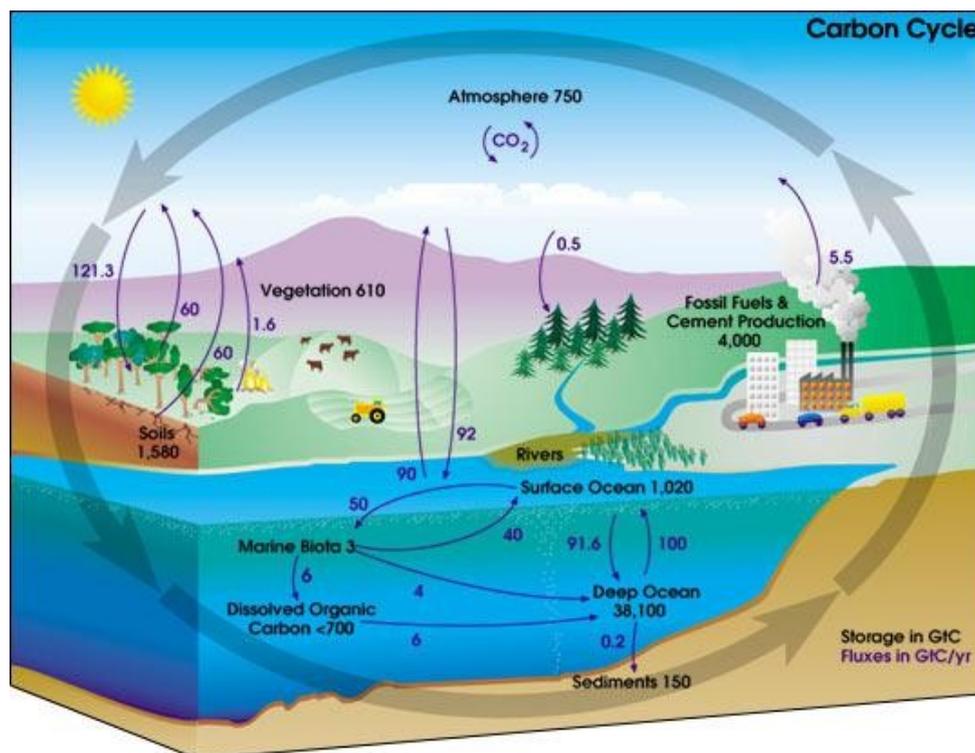


Figura 1: O Ciclo do Carbono. (What is carbon cycle, 2011)

O aproveitamento da biomassa deve ser encarado como uma forma de valorização dos resíduos, minimizando também a quantidade que se deposita em aterros. Este aproveitamento reduz as quantidades que são queimadas sem qualquer valorização energética.

As queimadas e queimas de resíduos agrícolas efetuadas por todo o país, contribuem também para a grande quantidade de incêndios florestais existentes, devendo apenas ser levadas a cabo nas alturas do ano que apresentem menor risco. Este tipo de ação serve para reduzir a quantidade existente, permitindo também a remineralização dos solos.

No entanto, este tipo de resíduos queimados em instalações adequadas para esse fim poderia ter um aproveitamento para a produção de energia elétrica ou o aproveitamento combinado de calor e eletricidade.

Outro fator que leva a que seja desejável que este tipo de resíduo tenha um aproveitamento diferente do que tem sido deve-se aos compromissos assumidos pelos países com o Protocolo de Quioto, e com as políticas da Comunidade Europeia.

A valorização energética deverá recair sobre materiais sem outras aplicações, seja para a alimentação humana ou animal, uma vez que a existência de outra utilização tende a encarecer e a rarear as matérias-primas. Deve também focar-se em materiais com potencial de quantidade para que seja viável a sua investigação e realização de testes necessários para a determinação da viabilidade.

De entre as fontes de biomassa lenhosa existentes nos arredores de Viseu as mais relevantes em termos da ocupação dos solos são o *Pinus pinaster* (Pinheiro bravo), o *Eucalyptus globulus* (Eucalipto), a *Acácia dealbata* (Mimosa) e a *Cytisus striatus* (Giesta) (Sobral, 2011). De entre as espécies lenhosas existentes na região conhecem-se as seguintes aplicações:

- *Pinus pinaster* – a madeira de pinheiro tem aplicação nas indústrias da serração, carpintaria, produção de painéis, mobiliário e pasta de papel ou cartão;
- *Eucalyptus globulus* – a madeira de eucalipto tem utilização na indústria da pasta de papel de fibra curta, papel de impressão, papel de escrita ou papel de uso doméstico;
- *Acácia dealbata* – a *Acácia dealbata* teve aplicação na indústria de tingimento de tecidos, e produção de essências para perfumes. No entanto essa utilização não tem relevância na região em consideração, pelo que a totalidade da população existente se encontra disponível para valorização energética;
- *Cytisus striatus* – a giesta tem como aplicação a cobertura dos solos e/ou a produção de cama para o gado ovino, caprino ou bovino. No entanto esta aplicação não tem relevância em termos de quantidade de material.

De entre essas espécies, o *Pinus pinaster* (pinheiro) tem aplicação para a produção de peletes, no entanto a sua utilização encarece a produção, pelo que encontrar uma espécie lenhosa sem outra utilização será uma mais-valia do ponto de vista económico ao nível nacional. Deste ponto de vista, uma planta interessante é a *Acácia dealbata*, também denominada popularmente de Mimosa, uma vez que tem características que a podem tornar bastante útil do ponto de vista energético.



Figura 2: Fotografia de floração de Mimosa (Burncoose, 2011)

Outra fonte de energia que se pode valorizar é as cascas de frutos secos (como nozes, avelãs, amêndoas, etc.). Este tipo de material é considerado um resíduo agroindustrial, um subproduto de utilização rústica e pouco eficiente, que no entanto é conhecido pelo seu potencial térmico, sendo utilizado para queima em lareiras e fornos artesanais produzindo calor.

Embora a *Acácia dealbata* e as cascas dos frutos secos já possam ser valorizados energeticamente na sua forma original, esta limita a sua aplicação a zonas próximas do local onde existem, uma vez que devido à sua baixa densidade a granel o seu transporte é oneroso, não sendo economicamente viável o deslocamento do material a grandes distâncias.

Para que a valorização dos resíduos possa ter uma maior abrangência, quer em termos geográficos, quer em termos de aplicação, deve efetuar-se a densificação, uma vez que assim, se viabilizará o transporte a maiores distâncias.



Figura 3: Frutos secos com casca (Gravata e Saltos Altos, 2009)

A densificação pode ser obtida pela produção de peletes ou de briquetes. No entanto, os peletes têm a possibilidade permitir a montagem nos sistemas de queima de um sistema automatizado de alimentação que não se pode obter com os briquetes.

Nos subcapítulos seguintes definem-se conceitos importantes como o Protocolo de Quioto; a Política Ecológica / Energética Europeia; os Peletes de Biomassa; a *Acácia dealbata*; as Cascas de Frutos Secos. Estes são os conceitos mais importantes para a realização deste trabalho.



2.1 PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo de Quioto é um acordo internacional da Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática, que traça metas para os países industrializados com o objetivo de reduzir as emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE – Greenhouse Gases Emissions). Deve-se atingir um valor médio de 5 % de redução em relação aos valores de 1990 durante o período de 2008 – 2012.

A diferença entre um Protocolo e uma Convenção é que uma Convenção encoraja enquanto um Protocolo compromete. Estabelece também que os países desenvolvidos são principais responsáveis pelos níveis atuais de emissões, pelo que devem ser estes os principais responsáveis pela redução.

Os países devem atingir os objetivos através de medidas internas, no entanto este protocolo permite a utilização de mecanismos adicionais baseados em três mercados:

- ↻ Mercado de Emissões – os objetivos são expressos como níveis de emissões permitidos, ou “quantidades distribuídas”. Assim, um país que tenha emissões para dispensar (emissões permitidas mas não utilizadas) pode vender este excesso. Este mercado também é conhecido como o mercado de emissões.
- ↻ Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – este mecanismo permite que um país obtenha uma redução nos limites permitidos pelo protocolo implementando projetos de redução das emissões em países em desenvolvimento. Esses projetos são certificados e atribuem selos de redução das emissões, que podem ser utilizados para atingir os valores desejados. Este mecanismo estimula o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões.
- ↻ Implementação Conjunta – Este mecanismo permite a um país com limites estabelecidos ganhar unidades de redução de emissão em projetos desenvolvidos em países em desenvolvimento (também tem limites estabelecidos). O país que cria o projeto ganha na redução das suas emissões. O outro ganha em investimento e transferência de tecnologia.



2.2 POLÍTICA ECOLÓGICA / ENERGÉTICA EUROPEIA

Em Março de 2007, a Comunidade Europeia e os seus países membros adotaram políticas para combater as alterações climáticas e aumentar a segurança energética da União Europeia ao mesmo tempo que reforçam a sua competitividade. Estabeleceu-se que a União Europeia deverá transformar-se numa economia altamente eficiente e de baixa utilização de carbono.

Assim, os chefes de governo dos membros da União Europeia estabeleceram um conjunto de objetivos energéticos e climáticos que devem ser atingidos até 2020, e que são conhecidos por “20 – 20 – 20”. Assim deseja-se:

- Redução de 20 % da emissão de gases com efeito de estufa em relação aos níveis de 1990;
- 20 % de toda a energia consumida deve provir de fontes renováveis. Consideram-se fontes renováveis as que são repostas ao mesmo ritmo a que são utilizadas, como a energia solar, eólica, biomassa, geotérmica, do hidrogénio, dos mares e marés;
- Redução da energia primária utilizada em 20 %, especialmente aumentando a eficiência energética.

Foi também acordada a redução em 30 % das emissões da União Europeia, no entanto esta redução foi efectuada dependendo da adesão de outros países mais emissores.

2.3 PELETES DE BIOMASSA

Os peletes são muito versáteis e robustos para utilizações em aquecimento ambiente, aquecimento de águas domésticas, e produção de eletricidade. São uma aplicação da biomassa bastante versátil, e com características que lhes permitem competir com os combustíveis fósseis em características como a conveniência, fornecimento, e preço (Jenkins, 2010).

Os peletes são considerados neutros em termos de emissões de carbono uma vez que a sua queima não emite mais dióxido de carbono do que aquele que se armazenou durante o crescimento da planta que lhe deu origem.

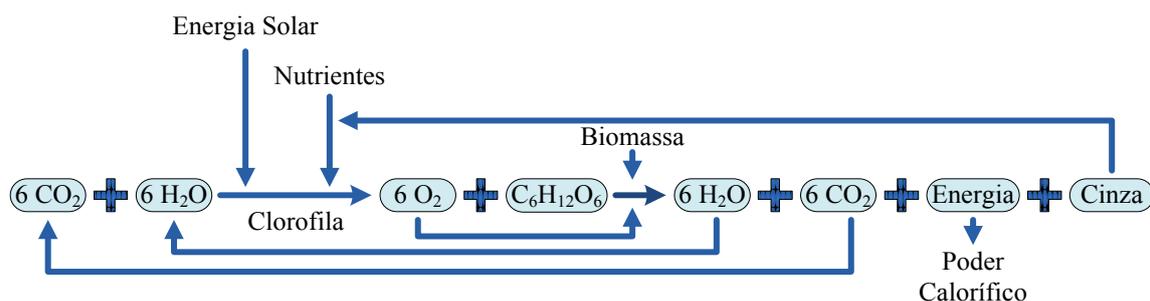


Figura 4: Ciclo de utilização da biomassa para a produção de energia. (El Bassam, 2010)

Os peletes tradicionalmente têm uma qualidade consistente, uma vez que têm teor de humidade constante, alto poder calorífico volúmico, tamanho e formas homogêneas. Têm grande aplicação para queima em fornos residenciais.



Figura 5: Peletes (Patervis, 2010)

Os peletes são uma forma mais densa e mais seca de utilização de biomassa, quando comparado com as lascas de madeira. Permitem o escorregamento, sendo mais fáceis de armazenar e transportar.

Têm uma forma cilíndrica com diâmetros entre os 6 e os 12 mm, e comprimentos entre os 10 e os 30 mm. Geralmente são fáceis de queimar, e produzem menos fumo e cinzas do que a madeira. As suas dimensões permitem a automatização e melhor controlo da combustão (Jenkins, 2010).

Origem: De acordo com a tabela 1 do prCEN / TS 14961:2005		Biomassa lenhosa (1) Biomassa herbácea (2) Biomassa frutífera (3) Misturas (4)
Forma de comércio		Peletes
Normas	Dimensões (mm)	
	Diâmetro (D) e comprimento (L)	
	D06	$\leq 6 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ e $L \leq 5 \times \text{Diâmetro}$
	D08	$\leq 8 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$
	D10	$\leq 10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$
	D12	$\leq 12 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$
	D25	$\leq 25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$
	Humidade (massa - % conforme recebida)	
	M10	$\leq 10 \%$
	M15	$\leq 15 \%$
M20	$\leq 20 \%$	
Cinzas (massa - % na base seca)		
A0.7	$\leq 0,7 \%$	
A1.5	$\leq 1,5 \%$	
A3.0	$\leq 3,0 \%$	
A6.0	$\leq 6,0 \%$	
A6.0+	$> 6,0 \%$ (o valor real deve ser declarado)	

Tabela 1: Tabela de especificações normativas dos peletes de acordo com a norma CEN / TS 14961 : 2005 : E (CEN, 2005) (Alakangas et al., 2006)



Continuação da tabela da página anterior		
Normas	Enxofre (massa - % na base seca)	
	S0.05	≤ 0,05 %
	S0.08	≤ 0,08 %
	S0.10	≤ 0,10 %
	S0.20+	≤ 0,20 % (o valor real deve ser declarado)
	Durabilidade mecânica (massa - % de peletes depois de testados)	
	DU97.5	≥ 97,5 %
	DU95.0	≥ 95,0 %
	DU90.0	≥ 90,0 %
	Quantidade de finos (massa - %, < 3,15 mm) À saída da fábrica	
	F1.0	≤ 1,0 %
	F2.0	≤ 2,0 %
	F2.0+	> 2,0 % (o valor real deve ser declarado)
	Aditivos (peso - % massa comprimida)	
	Tipo e teor de auxiliares de compressão, inibidores de escoriação e qualquer aditivo têm de ser indicados.	
Azoto, N (massa - %, na base seca)		
N0.3	≤ 0,3 %	
N0.5	≤ 0,5 %	
N1.0	≤ 1,0 %	
N3.0	≤ 3,0 %	
N3.0+	> 3,0 % (o valor real deve ser declarado)	
Informação	Poder calorífico inferior PCI $Q_{p,net,ar}$ (MJ/kg conforme recebido) ou poder calorífico volúmico E_{ar} em (kWh/m ³ solto)	Informação que se recomenda ser fornecida pelo revendedor
	Massa volúmica aparente conforme recebido (kWh/m ³ solto)	Informação recomendada se a comercialização for efetuada na base volúmica
	Cloro, Cl (massa - %, na base seca)	Recomenda-se a indicação como uma categoria Cl0.03, Cl0.07, Cl0.10, e Cl0.10+ (o valor real deve ser declarado)

Tabela 1 (continuação): Tabela de especificações normativas dos peletes de acordo com a norma CEN / TS 14961 : 2005 : E (CEN, 2005) (Alakangas et al., 2006)



Do ponto de vista teórico, os peletes podem ser produzidos de um grande número de materiais de base, desde que se assegure um bom controlo de qualidade da fonte de matéria-prima, teor de humidade, níveis de contaminantes. A maioria dos peletes produzida a nível mundial tem como material de base o pinho.

No estrangeiro os peletes são produzidos com serradura, que é um desperdício de serrações e de fábricas de móveis, com a introdução de resíduos dos cortes de árvores. A disponibilidade de fontes de matéria-prima depende das fontes existentes, mas também das outras aplicações para o mesmo material (Oberberger & Thek, 2010).

As madeiras subdividem-se entre madeiras macias e duras. As madeiras macias são as de coníferas do género *Pinus*, como os pinheiros da Europa, os abetos, os cedros, os ciprestes ou o teixo. As madeiras duras são o carvalho, a balsa, a nogueira, o olmo, o videiro ou o mogno. Esta divisão não é muito correta uma vez que a balsa é mais macia que o teixo, mas deve-se à estrutura da madeira, e ao tempo de crescimento da árvore. A madeira dura tem uma taxa de crescimento mais lenta.

Qualquer madeira não tratada pode ser utilizada para a produção de peletes, mas as madeiras mais macias exigem uma menor utilização de energia. As madeiras podem ser utilizadas sob a forma de serradura, resíduos ou troncos inteiros. Não deve ser inserido na produção dos peletes qualquer composto de madeira, uma vez que a legislação em vigor em Portugal limita utilização a madeiras não tratadas, sem a utilização de aditivos ou de ligantes.

Os mecanismos que atuam nas partículas individuais para promover a densificação dos materiais constituintes dos peletes podem subdividir-se em cinco grandes grupos:

- **Pontes Sólidas** – este tipo de ligação ocorre devido à cristalização de alguns componentes, reações químicas, endurecimento de ligantes e solidificação de componentes fundidos. As pontes sólidas ocorrem após o arrefecimento dos produtos densificados;
- **Força de atracção entre partículas sólidas** – as forças de atracção que se podem desenvolver pelo aparecimento de ligações intermoleculares, forças de Van der Waals, pontes de hidrogénio, forças eletrostáticas e forças magnéticas. Para que este tipo de ligações possa aparecer tem de se aproximar as partículas o suficiente;
- **Ligações de atracção mecânicas** – este tipo de ligações ocorrem quando existem partículas planas ou fibras volumosas que se podem entrelaçar criando ligações entrelaçadas;
- **Forças de adesão e coesão** – estas forças aparecem quando agentes ligantes viscosos aumentam a área de contacto entre partículas facilitando o aparecimento de forças intermoleculares. Geralmente, o agente ligante é água;
- **Forças interfaciais e pressão capilar** – a presença de líquidos como humidade não ligada entre as partículas pode levar ao aparecimento de forças de coesão entre as partículas (Kaliyan & Morey, 2009).

O material a utilizar para a produção de peletes deve encontrar-se com teor de humidade entre os 10 e os 20 % na base mássica e na base húmida, devendo secar-se se o teor de humidade for superior.

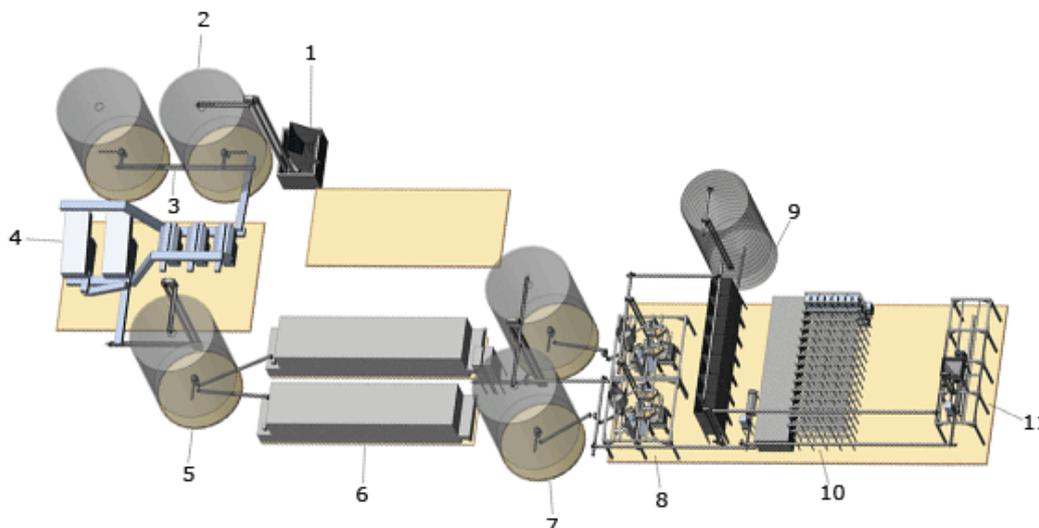


Figura 6: Exemplo de uma fábrica de peletes. (HAAS, 2003)

Em 1 é local de receção das lascas de madeira, em 2 os silos de armazenagem. Em 3 representa-se um sistema automático de transporte. A limpeza do material efetua-se em 4, armazenando-se posteriormente em 5. Os secadores de correia encontram-se em 6, armazenando em 7. Em 8 os moinhos de martelo reduzem as dimensões da matéria-prima. Nesta localização também se localizam as peletizadoras. Em 9 é o silo de armazenagem de peletes, que são distribuídos pelas linhas de ensaque ou carregados em camiões.

A produção de peletes pode subdividir-se em vários passos como se descreve nos subcapítulos seguintes.

2.3.1 RECOLHA DO MATERIAL E TRANSPORTE

Geralmente o material lenhoso é recolhido em florestas no caso de resíduos florestais, nos terrenos de cultivo em caso de resíduos agrícolas e em fábricas de processamento de madeira no caso de serradura.

O local onde se efetua a valorização energética geralmente não é o local de produção, pelo que é necessário efetuar o transporte. O meio de transporte mais usual é o camião, que utiliza como combustível o gasóleo.



Este meio de transporte limita a distância a percorrer, devido ao custo que introduz no processo produtivo. Embora a remoção de resíduos das florestas, matas e campos seja uma necessidade, nem sempre o seu potencial energético é valorizado, sendo muitas vezes queimados sem qualquer cuidado de recuperação da energia libertada, apenas com o objetivo de redução dos resíduos. As empresas madeireiras disponibilizam os ramos e casca, no entanto os custos de transporte podem ser um fator limitativo para a sua valorização energética.

Como referido anteriormente, o material mais utilizado para a produção de peletes é o pinho. Este material de base tem o problema de ter aplicações concorrentes, com valor económico elevado o que leva a custos de aquisição de material, devendo, por tanto, desenvolver novas fontes de matéria-prima.

Existe também a aplicação de palha e carolo de milho para a produção de peletes, no entanto este tipo de material de base tem elevado teor de cinzas levando a que os peletes produzidos também apresentem essa característica, o que não é desejável para aplicações domésticas. A utilização em centrais termoelétricas, com um controlo de queima mais eficiente e controlado não tem esse problema e por isso as normas referentes aos teores de cinza dos peletes, para esta aplicação, são mais permissivas. (Pimentel & Patzek, 2005)

A biomassa existente e que pode ser disponibilizada para a produção de peletes pode vir de resíduos agrícolas, como a palha, no entanto essa fonte energética compete com a produção de alimentação animal. A matéria-prima para a produção de peletes pode também ser proveniente da criação de plantas com o único objetivo de produção de energia, denominada de plantações bioenergéticas.

2.3.2 ARMAZENAGEM

A armazenagem de matérias-primas para a produção de peletes pode ser efetuada antes do destroçamento, em que o material lenhoso pode ser armazenado no exterior, uma vez que o destroçamento tende a reduzir a humidade da madeira.

No entanto, após o destroçar da matéria-prima e posterior secagem pode ser necessário armazenar o material para que exista uma estabilização e homogeneização da humidade. Neste caso é necessário que a armazenagem se efetue em local de humidade controlada.

Outro aspeto importante na armazenagem é a tendência que as diversas formas de biomassa têm para se degradar quando armazenadas com humidade elevada.



2.3.3 LIMPEZA

A recolha do material pode levar a que em conjunto com a madeira seja arrastada para a fábrica resíduos metálicos, areias, vidros ou plásticos. Em zonas mais arenosas as cascas das árvores encontram-se com teores de areias superiores ao normal.

Estes resíduos levam ao desgaste ou danificação da peletizadora, pelo que devem ser retirados. Este tipo de material também pode ser responsável pela redução da qualidade dos peletes.

A remoção de resíduos ferrosos pode ser efetuada com a utilização de um íman. A remoção de outros tipos de materiais é mais complicada e pode obrigar ao recurso a trabalho manual, pelo que pode ser mais complicada de efetuar, no entanto os resíduos visíveis devem ser retirados.

2.3.4 DESTROÇAMENTO

Nesta fase o material lenhoso deve ser triturado, para que passe a ter dimensão desejada. As partículas obtidas na trituração devem ser inferiores ao diâmetro dos peletes a produzir, para que a energia necessária para a produção não seja proibitiva e os peletes consigam ter a qualidade desejada.

A zona de destroçamento é uma zona com risco de incêndio e explosão devido à formação de pó, pelo que deve ser uma zona bastante controlada. Este problema pode ser ultrapassado pela utilização de material húmido, o que reduz a criação de pó.

Os peletes com maior aplicação têm 6 mm de diâmetro, e nesse caso, o material de base deverá ter dimensões inferiores a 4 mm. Se os peletes a produzir forem de dimensão superior (8 ou 10 mm), o material de base poderá ter dimensões superiores.

Existem moinhos de martelos, de bolas, de disco e de facas. Servem para reduzir o material entre o tamanho intermediário a pequeno, uma vez que este tipo de equipamentos não permite destroçar material de grandes dimensões. O moinho de martelo e de facas serve para materiais frágeis não abrasivos e funciona por esmagamento do material a destroçar devido ao impacto que este sofre pela ação da rotação de alta velocidade que os martelos atingem.

Quando o material se encontra triturado, as suas dimensões máximas são definidas pela utilização de crivos. Após o material ter as dimensões desejadas é removido por ação da força exercida.



O moinho de bolas é um dispositivo cilíndrico com movimento rotativo horizontal. Tem no seu interior esferas de aço ou de cerâmica de diversos tamanhos que se encontram soltas e que sob a ação da força centrífuga gerada pela rotação do cilindro levam à redução do tamanho das partículas de biomassa, as quais são separadas pela utilização de um crivo que só permite a passagem de tamanhos abaixo das dimensões desejadas.

Os moinhos de disco são formados por um disco giratório que comprime o material contra a um disco estacionário. A separação do material é efetuada forçando a sua passagem por uma tela perfurada (Obernberger & Thek, 2010).

2.3.5 SECAGEM

Deve garantir-se que a humidade do material a peletizar se encontra no intervalo de valores desejados. Sabe-se que os peletes, para que se encontrem nos padrões de qualidade desejados, deverão ter uma humidade entre os 6 e os 10 %. No entanto, durante o processo de peletização existe alguma perda de humidade. A humidade do material de base não deve ultrapassar os 12%.

Para que o material se encontre homogéneo em termos de humidade deve o material ficar após secagem por um período de 10 a 24 h num armazém temporário. A armazenagem intermédia deve ser efetuada em silos que facilitam a alimentação do processo de peletização.

A madeira contém água armazenada em diversas formas. Existe a água não ligada também denominada de água capilar, e existe a água ligada no interior da membrana das células. A água que se encontra no interior das células não é fácil de remover. Quando se atinge a remoção de toda a água livre atinge-se o ponto de saturação. Este ponto de saturação situa-se entre os 18 e 26 % (m/m b. h.) dependendo da espécie que se está a considerar. A humidade da madeira depende também da altura do ano em que se está a considerar, uma vez que no Inverno a madeira tem mais água capilar do que no Verão.

Pode ser necessário adicionar vapor ou água nos momentos imediatamente antes da peletização. A adição de água permite a criação de mecanismos de ligação que ocorrem nos processos de densificação (Jonsson, 2009).

2.3.5.1 Secagem Natural

Esta é a forma mais simples de secar qualquer coisa inclusive madeira. O material é colocado em pilhas soltas e rodado regularmente. Este tipo de secagem apenas tem aplicação em palha e plantações bioenergéticas.

Este tipo de secagem não permite a obtenção dos valores desejáveis, em curtos intervalos de tempo, para a produção de peletes, no entanto pode permitir um pré-tratamento reduzindo a quantidade de água que tem de ser removida, logo a energia despendida na secagem.

2.3.5.2 Secador Tubular

Este é o método de secagem amplamente utilizado na produção de peletes. O material passa por tubos que são aquecidos exteriormente a 90 °C sem haver contacto entre o meio de aquecimento e a madeira.

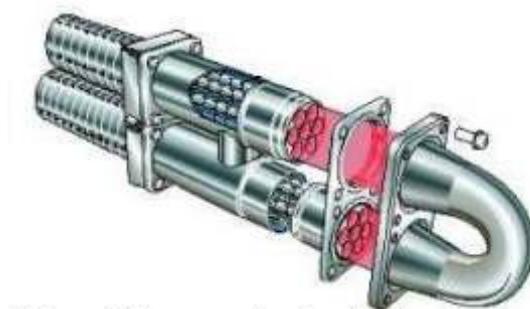


Figura 7: Esquema de um secador tubular. (WUSTL, 2011)

Geralmente o meio de aquecimento pode ser óleo térmico ou água quente e circula num tubo exterior e concêntrico por onde passa a madeira. Este sistema funciona em contracorrente, ou seja, o fluido circula em sentido inverso da madeira.

Este sistema de secagem pode ser aplicado para a secagem de lascas, serradura, etc. Os custos de manutenção são relativamente baixos, uma vez que apenas algumas peças se encontram móveis, o que leva a que não exista a grande desgaste.

2.3.5.3 Secagem em Tambor

É uma tecnologia recente, e com grande aplicação na produção de peletes. Pode ter aquecimento direto ou indireto. O aquecimento direto é quando o meio de aquecimento (gases de escape ou ar aquecido à temperatura adequada) passa no interior do tambor. O aquecimento indireto ocorre quando o fluido de aquecimento passa no exterior do tambor aquecendo as paredes que vão aquecer a madeira. O material a secar é transportado ao longo do tambor que se encontra a rodar de forma lenta. A rotação leva a que o material se encontre misturado e com teor homogéneo de humidade.



Figura 8: Fotografia de um secador de tambor (Northstone Materials, 2011)

As temperaturas de entrada do fluido de aquecimento são entre os 300 e os 600 °C dependendo do seu modo de construção. Neste tipo de equipamento é de esperar que exista um elevado teor de voláteis nos gases à saída do tambor. É também de esperar encontrar teores significativos de NO_x e ozono. Estes gases são nocivos para o meio ambiente, pelo que devem ser muito controlados.

A homogeneidade do material obtido por este método de secagem é comparável à obtida no secador de tubos. No entanto com este método consegue-se uma transferência de calor mais eficiente, uma vez que se tem um gradiente de temperaturas superior (Oberberger & Thek, 2010).

2.3.5.4 Secagem em Tapetes

Também tem aplicação na indústria da peletização a secagem em tapetes. Dependendo do tipo de secador, utilizam-se temperaturas de entrada entre os 90 e 110 °C, e temperaturas de saída entre os 60 e os 70 °C. Este processo previne o aparecimento de odores nos gases à saída do secador.

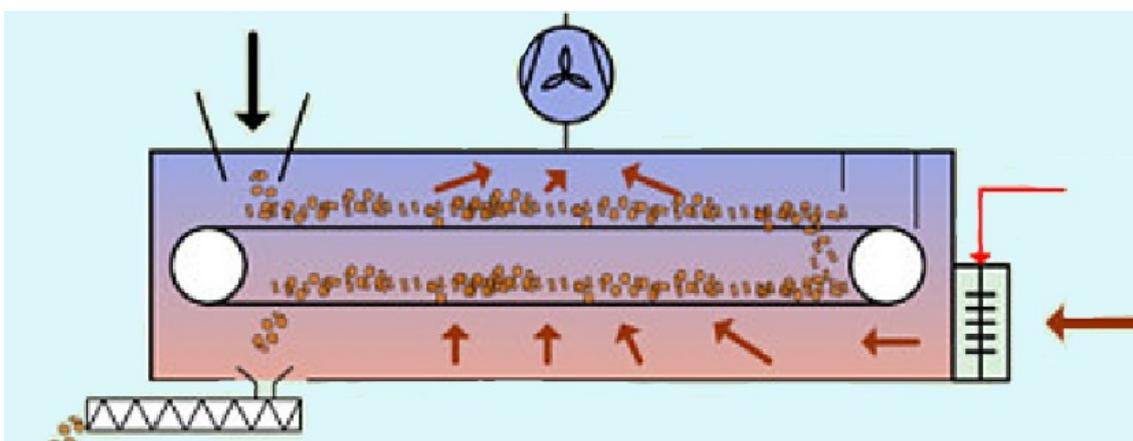


Figura 9: Esquema da secagem em tapetes (Schmitt Enerotec, 2010)

Este tipo de equipamento pode funcionar igualmente com aquecimento direto ou indireto, podendo o fluido de transporte ser óleo, vapor ou água quente. No caso de vapor sobreaquecido ou ar, o funcionamento é por aquecimento directo e o meio utilizado para o aquecimento encontra-se em contacto com o material.

O tapete transportador tem de ser carregado de forma contínua e com uma distribuição regular, de forma a garantir uma homogeneidade do material após secagem. Permite uma automatização fácil, pelo que é um sistema de secagem com grande aplicação na indústria de produção de peletes. Este sistema é mais dispendioso do que os citados anteriormente, no entanto, este investimento é recuperável devido a utilizar temperaturas inferiores, se for possível valorizar os gases de escape de aplicações a temperaturas mais elevadas (Oberberger & Thek, 2010).

2.3.5.5 Secador de Baixa Temperatura

Este equipamento é um desenvolvimento recente para a secagem de lascas de madeira e serradura, em que um lote de material é colocado na câmara de secagem superior e que passa para a câmara seguinte quando a madeira tem a humidade estabelecida.

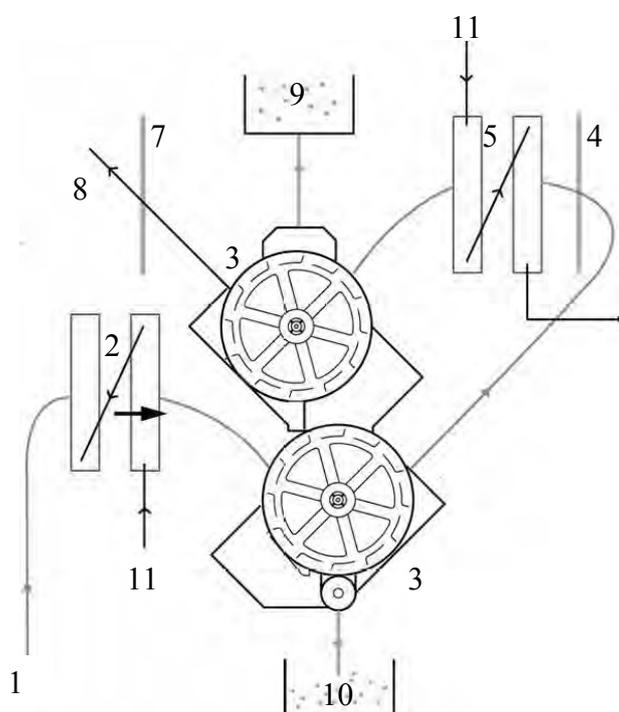


Figura 10: Princípio de funcionamento de um secador de baixa temperatura
(Oberberger & Thek, 2010)

Em 1 encontra-se a entrada de ar ambiente, em 2 encontra-se o primeiro permutador de calor, em 3 a câmara de secagem inferior, em 4 o filtro intermédio, em 5 o segundo permutador de calor, em 6 a câmara de secagem superior, em 7 encontra-se o filtro, em 8 a saída de vapores, em 9 o local de introdução do material a secar, em 10 o local de saída do material, em 11 encontram-se os aquecedores.

Neste caso existe um maior consumo de energia, uma vez que existem perdas durante o tempo em que é necessário efetuar a colocação do material. A temperatura de entrada é entre os 50 e os 100 °C, permitindo uma secagem sem emissões de odores.

Para este caso deve-se privilegiar uma localização interior, podendo a sua aplicação ser completamente automatizada, e a madeira quando sai do secador vem com uma boa homogeneização (Oberberger & Thek, 2010).



2.3.6 TORREFACÇÃO

Um processo com desenvolvimentos recentes e que permite um aumento considerável no poder calorífico volúmico da madeira é a torrefacção. Este é um processo termoquímico que utiliza temperaturas entre os 200 e os 300 °C em atmosfera inerte ou rica em azoto e à pressão atmosférica.

A torrefacção é um processo que se efetua em tempos relativamente pequenos demorando entre 30 minutos a 1 hora. De acordo com Colophon (2005), a biomassa torna-se facilmente destroçável para torrefacções entre os 260 e os 300 °C, com tempos de permanência no forno de 30 a 7,5 minutos.

Kaliyan & Morey (2009) observaram um aumento do poder calorífico superior. Neste intervalo de temperaturas a biomassa tende a perder a sua força, por quebra das ligações da hemicelulose, e estrutura fibrosa, por despolimerização parcial da celulose. Isto leva no entanto a um aumento do teor de lenhina.

A lenhina atua como um agente ligante natural, uma vez que quando a temperatura aumenta a lenhina amacia e auxilia o processo de ligação. No entanto, para espécies de madeira com teor de lenhina superior a 34 % existe uma redução da durabilidade dos peletes obtidos (Kaliyan & Morey, 2009).

O processo de torrefacção consiste em efetuar uma pré-secagem, seguida de torrefacção, com posterior arrefecimento do material em atmosfera controlada. Os gases de escape da torrefacção devem ser reaproveitados para efetuar o aquecimento da biomassa durante a secagem e torrefacção, uma vez que têm elevados teores de voláteis, sendo também uma vantagem o encontrarem-se a alta temperatura.



Figura 11: Começando com a biomassa lenhosa, efectua-se a torrefacção, obtendo-se o BioCarvão fazendo-se posteriormente a peletização, obtendo uma forma de energia mais elevada. (Colophon, 2005)

Com a torrefacção existe uma redução de 30 % do volume, no entanto, o material mantém cerca de 90% da sua energia. A torrefacção deve ser aplicada em conjunto com um passo de densificação, como a peletização. Está demonstrado que a torrefacção facilita o destocamento do material lenhoso (Colophon, 2005).

A biomassa lenhosa tem geralmente características higroscópicas o que limita o tempo durante o qual se pode armazenar sem que exista biodegradação. Além disso, a sua utilização não permite a obtenção das eficiências desejadas. Após a torrefacção o teor de humidade é substancialmente reduzido e existe a evaporação dos voláteis de baixo peso molecular. Obtém-se assim um sólido hidrofóbico com elevado teor de carbono fixo. Isto traduz-se num material com um poder calorífico volúmico superior (Chen & Kuo, 2010).

Para se entender melhor a torrefacção descrevem-se em detalhe as fases de combustão de combustíveis sólidos. Assim, a torrefacção é um processo semelhante à combustão sendo no entanto interrompido antes dos 250 °C:

- **Aquecimento do Combustível** – quando o material é inserido nos sistemas de combustão geralmente encontra-se a temperaturas que podem ir dos 10 a 25 °C. Assim, e antes de se iniciarem quaisquer reações o material é aquecido até a uma temperatura de 100 °C;
- **Secagem do Combustível** – após se dar o aquecimento inicia-se a vaporização da água existente no combustível, que se liberta sob a forma de vapor de água para temperaturas entre os 100 e os 150 °C;

Decomposição Pirolítica – para temperaturas entre os 150 e os 230 °C os componentes de cadeia longa começam a quebrar-se dando origem a compostos de cadeia curta. Nesta fase aparecem compostos como o CO, hidrocarbonetos gasosos (C_mH_n) ou compostos líquidos de alcatrão. Nesta fase não é necessário oxigénio.

No caso da torrefacção, apenas se vai até aos 250 °C. No caso da combustão da madeira pode também ser descrita e visualizada no gráfico seguinte, sendo a reacção interrompida quando se chega à temperatura indicada:

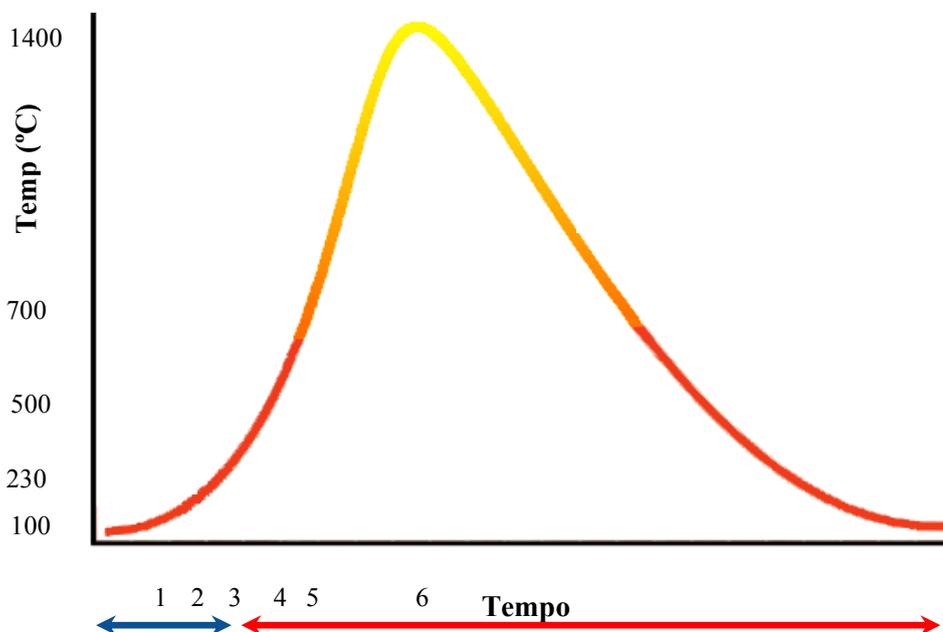


Figura 12: Nesta representação pode visualizar-se as várias fases da combustão da madeira: 1 – Aquecimento do Combustível; 2 – Secagem do Combustível 3 – Decomposição; 4 - Gaseificação do Combustível sem Água; 5 – Gaseificação do Carbono Sólido; 6 - Oxidação dos Gases Combustíveis. A azul encontra-se representada a parte desta reacção que necessita de energia (reação endotérmica) e a vermelha a que fornece energia (reação exotérmica) (IST et al., 2004).

2.3.7 PELETIZAÇÃO

Este é o passo mais importante para a produção de peletes. A tecnologia associada tem origem na produção de alimentação animal, e começou a ser utilizada para a produção de um combustível baseado na biomassa homogéneo em termos de forma, tamanho de partículas e teor de humidade.

As peletizadoras industriais normalmente utilizam um anel ou uma matriz plana, sendo no entanto as de anel mais comuns.

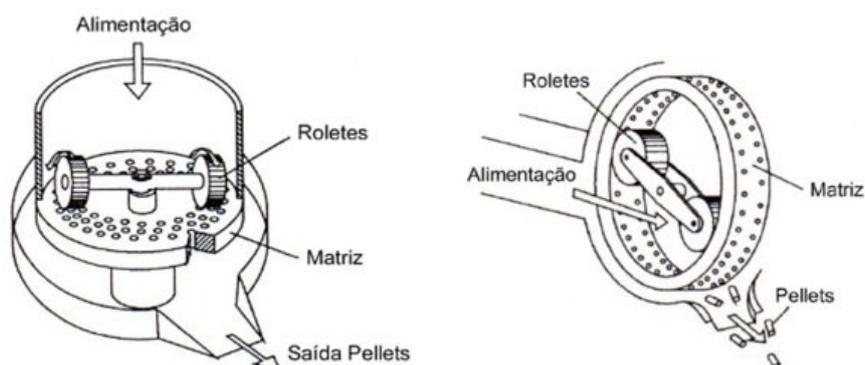


Figura 13: Representação de uma peletizadora plana (esquerda) e de anel (direita) (CTC, 2011)

Quando o material se encontra na fase de peletização deve encontrar-se sob a forma de uma mistura homogénea, em termos de tamanhos e de composição. A matéria-prima é comprimida de encontro a uma matriz com múltiplos orifícios por um sistema de roletes que vão forçando o material a passar pela matriz.

Uma faca pode ser colocada após a passagem pela matriz, servindo para controlar o comprimento dos peletes. As dimensões máximas dos peletes são determinadas pelos orifícios da matriz e pela colocação da faca.

Os parâmetros importantes na peletização são a quantidade de orifícios, a área dos orifícios, e o rácio entre o diâmetro dos orifícios e o comprimento dos mesmos. Em conjunto com o material a peletizar isto indica a fricção que se gera no interior dos orifícios. Este rácio deve encontrar-se entre os 1/3 e os 1/5.



Com o aumento do comprimento dos orifícios da matriz é possível obter peletes de maior qualidade com materiais com menos agentes ligantes. Existe um pequeno número de parâmetros que podem ou devem ser adaptados para peletizar um dado material como:

- ↗ Espessura na matriz;
- ↗ Comprimento do orifício;
- ↗ Quantidade, forma e diâmetro dos orifícios;
- ↗ Quantidade, diâmetro e largura dos roletes;
- ↗ Forma dos roletes.

2.3.8 ARREFECIMENTO

Devido ao atrito que se desenvolve entre o material lenhoso e a matriz quando se acaba de realizar a peletização os peletes encontram-se quentes e moles. Para que não se quebrem com facilidade devem ser arrefecidos para que a resina natural (ou outros agentes ligantes) endureça sem quebrar.

Sabe-se que os peletes quando acabam de ser produzidos podem encontrar-se a temperaturas entre os 80 e os 130 °C. Geralmente este arrefecimento é efetuado em contra corrente com a passagem de ar.

2.3.9 REMOÇÃO DE FINOS

Após o arrefecimento dos peletes devem-se remover as partículas finas de forma a assegurar que o material final se encontra limpo e sem pó. Como as partículas que são retiradas têm uma composição igual à dos peletes podem ser reintroduzidas na produção.

Este material já não precisa de qualquer tratamento, devendo a sua reintrodução efetuar-se na fase de peletização, não sendo necessário despender qualquer energia em tratamentos prévios.



2.3.10 DISTRIBUIÇÃO

A fase final de produção de peletes é a embalagem e distribuição para os clientes finais. Os meios usuais de distribuição de peletes são sacos de 10 kg, “big-bags”, camiões; vagões, ou navios, dependendo das necessidades e exigências do utilizador final.

A produção de peletes tem de obedecer a exigências de qualidade para que a sua utilização seja vantajosa. Essas exigências geralmente passam pelo estabelecimento de padrões, que podem ser nacionais ou internacionais. Estão em via de desenvolvimento as normas europeias ISO, baseadas nas normas DIN e ÖNORM. As diretivas da ISO após a sua emissão, deverão ser transcritas para a legislação nacional.

Define-se a massa volúmica aparente como sendo a massa existente na unidade de volume de peletes. A norma Europeia pr EN 14961-2 estabelece um valor de 600 kg/m³ como um valor mínimo para a massa volúmica aparente. Este valor deve ser calculado utilizando a Especificação Técnica Europeia “Solid Biofuels – determination of bulk density” (EN 15103), em que a amostra é sujeita a choques produzidos por três quedas de altura de 150 mm.

Neste trabalho a humidade é um aspeto importante. Assim, o cálculo do teor de humidade é efectuado com auxílio da seguinte equação (Oberberger & Thek, 2004):

$$M[m/m] = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + m_{ds}} \quad (1)$$

Determina-se o volume que se encontra ocupado nesse caso e o peso correspondente. (Oberberger & Thek, 2004)

$$\rho_b = \frac{m_{\text{aparente dos peletes}}}{V_{\text{aparente dos peletes}}} \quad (2)$$

A massa volúmica aparente dos peletes tem efeito no poder calorífico volúmico, e nos custos de transporte e armazenagem. Deve ter um valor superior a 600 kg / m³.

Deve-se também ter em consideração a massa volúmica de cada pelete. Para este caso deve-se determinar o volume de cada pelete, considerando-o como sendo um cilindro perfeito pelo que se se souber o diâmetro da base (D) e a altura (h), o volume ocupado é dado por:

$$V_{pelete} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \quad (3)$$

Assim, a massa volúmica de cada pelete pode ser dada pela sua massa a dividir pelo seu volume, como se pode verificar pela seguinte equação:

$$\rho_p = \frac{m_{pelete}}{V_{pelete}} \quad (4)$$

A massa volúmica de cada pelete tem influência no tempo de queima e na massa volúmica aparente. Encontra-se também definido pela norma pr EN 14961-2 um valor mínimo de 1,12 kg / m³.

A norma pr EN 14961-2 também estabelece para os peletes um comprimento de 40 mm como o limite máximo, uma vez que se essa dimensão for superior, pode haver limitações na tecnologia de combustão e transporte, no tempo de queima assim como risco de entupimento.

Um fator muito importante para os peletes, em especial para os consumidores, é a durabilidade mecânica. Este parâmetro é definido em como a fração mássica na base seca (m/m). Este é um fator muito importante para o comportamento durante o transporte, em relação à emissão de pó, e perdas durante o transporte.

A norma EN 14961-2 limita a um máximo de 0,02 (m/m) o valor de ligantes autorizados. Os ligantes melhoram a durabilidade dos peletes.

A humidade é um fator importante quer nos peletes quer no material de base. Por um lado a humidade é um agente ligante, uma vez que a existência de alguma humidade serve como agente aglutinante. No entanto, no caso de excesso reduz a poder calorífico volúmico. Assim, os materiais de base devem ter entre 0,08 e 0,12 m/m (b. s.) devendo os peletes ter humidade inferior a 0,10 m/m (b. s.). Assim, a humidade tem influência na durabilidade dos peletes (Jonsson, 2009).

Um outro fator importante para a produção de peletes é o tamanho das partículas do material de base. Assim, a norma EN 14961 -2 indica que devem ter um tamanho inferior a 4 mm, e indica que quando se tem um material de base com tamanho superior este deve ser destrocado antes de se poder produzir peletes.

Os parâmetros normativos mais importantes são o diâmetro, o comprimento, o rácio comprimento diâmetro e a durabilidade mecânica.

2.4 ACÁCIA DEALBATA

O género *Acácia dealbata* pertence à família das Mimosaceas, que se encontra atualmente subdividida em cinco grupos reconhecidos com as seguintes designações: *Acácia dealbata*, *Aculeiferum*, *Phyllodineae* (onde se insere a *Acácia dealbata*), *Filicinae* e *Coulteri*. A *Acácia dealbata* pertence à secção *Botrycephalae* que é um grupo de 44 espécies arborescentes.

A *Acácia dealbata* é originária da Austrália, sul da Ásia e América do Sul, onde ocupa largas extensões de terreno e habitats, podendo encontrar-se desde zonas costeiras até regiões subalpinas; em zonas de grande pluviosidade até regiões áridas e mesmo em climas tropicais, subtropicais e zonas temperadas. A *Acácia dealbata* ocorre naturalmente nas encostas ocidentais da Nova Gales do Sul, em áreas com 500 mm de chuva / ano.



Figura 14: Figura de um ramo florido de *Acácia dealbata* (Antique maps, 2011)

Acácia dealbata foi introduzida na Europa em 1800 como planta ornamental. De momento encontra-se amplamente disseminada nas zonas ribeirinhas, junto aos cursos de água, nos limites ensolarados dos pinheiros, onde forma povoamentos densos que limitam o crescimento da vegetação natural (Lorenzo et al., 2010).



A *Acácia dealbata* é uma árvore com altura até 30 metros, de casca lisa, cinzenta ou castanho-escuro, ficando com alguma ondulação quando envelhece. As folhas são tripinuladas com 20 a 25 pares de folíolos, com cerca de 5 mm cada. Têm uma floração numerosa de cor amarelo viva, dispostas em inflorescências. Os frutos aparecem sobre a forma de vagens com 4 a 10 cm de comprimento com 1 a 1,2 cm de largura.

De acordo com o Decreto-lei nº 565 / 99 uma planta invasora é uma pertencente a uma “espécie suscetível de, por si própria, ocupar o território de uma forma excessiva, em área ou em número de indivíduos, provocando uma modificação significativa nos ecossistemas”, pelo que, e de acordo com a mesma legislação é “proibido o cultivo (...) ou a detenção em local confinado e a utilização como planta ornamental (...) das espécies (...) identificadas como invasoras”.

A *Acácia dealbata* tem grande facilidade de recuperação, e após o corte rebenta por toça, também designada de rebentação vegetativa, não havendo necessidade de replantação. Esta planta pertence à família das leguminosas lenhosas, pelo que fixa azoto no solo, o que faz com que não necessite de adubação. Foram desenvolvidos estudos que revelam (Lorenzo et al., 2010) que a *Acácia dealbata* tem atributos biológicos adaptativos que lhe permite colonizar novos habitats.

Um fator importante relaciona-se com a facilidade de rapidamente crescer e aproveitar qualquer perturbação do solo, que pode advir de intervenção humana ou mesmo de um incêndio. A germinação das sementes pode ser despoletada por um grande leque de temperaturas, sendo geralmente favorecida pelos incêndios, uma vez que os compostos libertados durante os mesmos têm um efeito muito importante (biologia germinativa das *Acácia dealbata*).

As suas sementes estão cobertas com uma casca dura, em que o choque de um incêndio pode quebrar a sua dormência. Este fator, conjugado com o facto de o país em geral, e a região de Viseu em particular, ter nos últimos anos sofrido vários incêndios, leva a que exista uma área progressivamente elevada de *Acácia dealbata*, ficando esta com uma cobertura das zonas afetadas cada vez mais densa (Spooner, 2006).

O estudo desenvolvido por Castro (2009) faz a estimativa de ocupação por *Acácia dealbata* no concelho de Viseu; é de cerca de 435,76 ha correspondendo a 1,65 % da área florestal existente. Esta ocupação encontra-se junto a caminhos e aceiros, provavelmente devido à ausência de ensombramento e falta de vegetação autóctone que reduza a sua proliferação. Existe também uma grande proliferação junto de rios e de vegetação ripícola (Castro, 2009).



As parcelas ocupadas apresentam uma área média de $0,73 \pm 18,67$ ha, e apresentam povoados com plantas com diâmetro à base médio de $3,86 \pm 4,04$ cm, um diâmetro à altura do peito médio de $3,20 \pm 4,90$ cm, e uma altura média de $5,58 \pm 4,52$ m. O peso médio da árvore é de $3,53 \pm 5,67$ kg. As equações alométricas de caracterização da espécie *Acácia dealbata* para o concelho de Viseu foram aproximadas (Castro, 2009) pelas apresentadas a seguir:

$$m = (-0,87075) + (0,45332) + (0,094 \times db^2) \quad (5)$$

$$h = 10 (0,28236 + 0,86707 \times \log (dap)) \quad (6)$$

Com os dados recolhidos é possível efetuar a previsão do peso total disponível para aproveitamento. Castro (2009) determinou que a humidade total é de 42,14 %. Assim, pode escrever-se que o peso total em verde é de 76,80 t/ha.

A madeira proveniente da *Acácia dealbata* tem massa volúmica em verde de 800 kg/m^3 , quando seca ao ar apresente um valor que varia entre os 540 e os 720 kg/m^3 (World Wide Wattle, 2011).

Sabe-se também que a *Acácia dealbata* tem características alopatóicas. Define-se que uma planta tem alopatia quando tem efeitos estimulantes ou inibidores sobre as espécies vizinhas. A *Mimosa* tem capacidades alopatóicas afetando a germinação e crescimento de algumas plantas, deixando estas de efetuarem qualquer concorrência.

Embora de momento, e de acordo com a presente legislação não se deva utilizar a *Acácia dealbata* como planta de cultivo, nem como fonte energética, as plantas já existentes poderão ser mais do que suficientes para o aproveitamento energético, valorizando-se assim uma fonte energética que de momento não tem qualquer aproveitamento.

Por outro lado, o aparecimento de uma aplicação energética economicamente viável pode levar à alteração da perceção do legislador e originar uma alteração futura do *status quo* legal no que se refere plantação da *Acácia dealbata* (Pimentel & Patzek, 2005). Este facto associado à possibilidade de valorização de um recurso, terras e áreas populacionais onde de momento não se produz nada, pode levar à alteração da legislação existente.

2.5 CASCAS DE FRUTOS SECOS

Originalmente, um fruto seco refere-se a uma semente comestível cercado por uma casca dura. Na realidade, a sua definição mais científica, refere-se a um único fruto, em que a semente se encontra rodeada por um fruto seco e duro.

Esta definição contempla as avelãs e as castanhas. No entanto, esta definição não contabiliza a amêndoa nem a noz, uma vez que a sua parte exterior pode ser comestível, e os amendoins que são leguminosas. Outro grupo que não se encontra previsto é constituído pelas sementes de girassol e os pinhões, que são frutos (Armstrong, 2009).

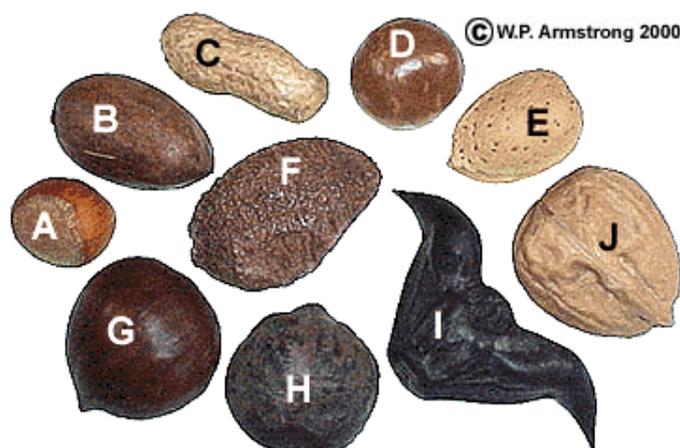


Figura 15: Alguns frutos secos. A – Avelã; B – Pecan; C – Amendoim; D - Macadamia; E – Amêndoa; F – Castanha do Brasil; G – Castanha; H – Kukui; I – Caltrop; J – Noz. (Armstrong, 2009)

As cascas de frutos são a casca exterior de nozes, avelãs, amêndoas, bolotas e castanhas. Podem ter aplicações em:

- ↪ Operações de limpeza e polimento;
- ↪ No enchimento de dinamite;
- ↪ Como espessante de tintas;
- ↪ Proteção no transporte de material frágil, preenchendo as embalagens;
- ↪ Criação de cobertura de solos, poderão ser aplicadas após redução de tamanho;
- ↪ Algumas são salgadas, com aplicação na ajuda do controlo das infestações de lesmas;
- ↪ Têm propriedades isolantes, depois de reduzidas a pó;
- ↪ Utilizam-se para melhorar a tração em zonas de formação de gelo espesso no inverno. Têm características que as tornam boas para a criação de zonas de drenagem para as plantas (Ehow, 1999).

As cascas de frutos secos têm composições que variam de espécie para espécie, assim como podem existir variações entre as cascas de frutos provenientes de árvore para árvore. Os minerais que se encontram nas cascas dos frutos secos consistem maioritariamente em sais de cálcio, potássio, sílica e magnésio.

A composição das cascas dos frutos secos mais conhecidos foi determinada por Demirbas (2003 e 2007) e é a que se pode ver de seguida:

Material	C	H	N	S	O	Cinza	PCS (MJ/kg)
Casca de Avelã	51,6	6,2	1,6	0,04	40,2	1,4	20,2
Casca de Noz	53,5	6,6	1,5	0,1	35,5	2,8	21,6
Casca de Amêndoa	47,9	6,0	1,1	0,06	41,6	3,3	18,8

Tabela 2: Composição química da biomassa em percentagem de massa de combustível seco com cinzas (Demirbas, 2007).

Material	Hemicelulose	Celulose	Lenhina	Carbono Fixo	Matéria Volátil	Matéria Extrativa
Casca de Avelã	30,4	26,8	42,9	28,3	70,3	3,3
Casca de Noz	22,1	25,6	52,3	37,9	59,3	2,8
Casca de Amêndoa	28,9	50,7	20,4	22,7	74,0	2,5

Tabela 3: Análise estrutural das cascas de frutos secos (Demirbas, 2003).

“Scientific truths are tentative and partial, and subject to continual revision and refinement, but as we tinker with truth in science-amending here, augmenting there - we always keep our ear attuned to the timber of the web”

The Virgin and the Mousetrap: essays in the search of the soul of science – Chet Raymo

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho seguiram-se as várias etapas que se resumem de seguida, sendo efetuada uma descrição mais detalhada nos subcapítulos seguintes.

Este trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica de forma a caracterizar todos os aspetos relevantes, apresentados no capítulo anterior e relacionados com o Protocolo de Quioto, a Política Económica e Energética Europeia, os Peletes de Biomassa, a *Acácia dealbata* e as Cascas de Frutos Secos.

Com a pesquisa bibliográfica fundamentou-se a escolha do material a utilizar para produzir os peletes. Efetuou-se então a recolha das espécies selecionadas.

Após esta fase, realizou-se o destroçamento da *Acácia dealbata*. Esse destroçamento teve por objetivo reduzir as dimensões do material, passando este a apresentar-se sob a forma de partículas finas.

Para efetuar o destroçamento utilizou-se um moinho de martelos com referência GKLC-19PK2010. A zona de entrada de material tem o aspeto apresentado na figura seguinte:



Figura 16: Moinho de martelos GKLC-19PK2010

Como o material lenhoso se encontra na Natureza com humidades superiores às desejadas para a produção de peletes, este deve secar-se antes de se poder peletizar. A humidade do material lenhoso para peletizar tem de ser inferior a 10 %.

Posteriormente caracterizou-se o material obtido. Nesta etapa determinou-se a distribuição granulométrica das partículas que compõem o material destrozado. É também importante determinar a humidade existente, uma vez que esta é uma característica muito importante para a peletização.

Nesta fase, já o material de base para a produção de peletes se encontra em condições de ser utilizado. No entanto, e como interessa testar misturas com diferentes teores entre os dois componentes, acácia e casca de frutos secos, com vista a encontrar uma combinação que revele as melhores condições de operação, foi necessário proceder-se à preparação de diferentes misturas de biomassa.



Figura 17: Fotografia da matriz plana de peletização

Para efetuar a peletização, sabe-se que o material deve ter dimensões inferiores às dos orifícios da matriz da peletizadora. Estes orifícios são os que vão determinar o diâmetro dos peletes. Material de base com dimensões superiores pode levar ao entupir e encravar da peletizadora.

Depois de efetuada a peletização executaram-se testes para determinar a qualidade dos peletes, determinando-se a sua durabilidade, o seu comportamento com a humidade e medindo-se as respectivas dimensões.



3.1 RECOLHA DO MATERIAL

Nesta fase deste estudo recolheu-se o material lenhoso. Para tal foi necessário cortar e transportar para o local de destroçamento *Acácia dealbata* (Mimosa) em quantidade considerada suficiente para a criação de peletes mas também para efetuar os testes de caracterização do material de base em termos de humidade e de granulometria, assim como durabilidade mecânica e humidade dos peletes produzidos.

A *Acácia dealbata* foi recolhida com diâmetro de base inferior a 2 cm. Esta dimensão foi escolhida de forma a se poder considerar que num dado local se podem realizar cortes de material lenhoso de dois em dois anos. Esta estimativa foi efetuada utilizando os dados de Castro (2009) e as equações alométricas apresentadas nessa publicação.

Assim, e considerando nesse mesmo estudo os dados referentes ao concelho de Viseu com uma área coberta de *Acácia dealbata* com 435,76 ha e o peso em verde de 76,80 t/ha, pode estimar-se a existência de 33466,37 t disponíveis. Esta matéria-prima tem um peso relevante na ocupação dos solos, e poderá ser aproveitada se for possível efetuar a sua peletização.

A recolha de material foi realizada numa berma de estrada da região de Viseu. Esta localização foi escolhida pela abundância da espécie e facilidade de acesso. Caso se demonstre a viabilidade de aproveitamento energético da *Acácia dealbata* pela produção de peletes, a escolha de local de colheita de material deverá passar por localizações com área maior e com maior cobertura do solo para que se possa efetuar a colheita num menor número de deslocações.

Toda a *Acácia dealbata* recolhida foi destroçada, sem que tenha sido retirada qualquer folha ou ramagem.

No caso das cascas de frutos secos, este é um resíduo ou subproduto da agro-indústria, sendo cedido para a realização deste trabalho pela Transagri, uma empresa local que transforma e comercializa frutos secos, com especial relevo para a avelã, dedicando-se ao seu descasque e comercialização (Transagri, 2008). Assim, e por abundância de matéria-prima, as cascas de frutos secos utilizadas foram as cascas de avelãs. Neste caso, e também devido à grande quantidade de material disponível não foi efetuada a redução de tamanho, sendo apenas levada a cabo uma separação mecânica, eliminando as partículas de dimensões superiores a 2 mm.

3.2 DESTROÇAMENTO DA BIOMASSA

O destroçamento da biomassa foi efetivado com a utilização de um moinho de martelos com referência GKLC-19PK2010. Este tipo de máquina é utilizado para reduzir a madeira em pequenas lascas ou serradura.

A madeira é introduzida num funil que deve ter um mecanismo de segurança para impedir o contacto entre o corpo humano e os martelos que se encontram no interior.

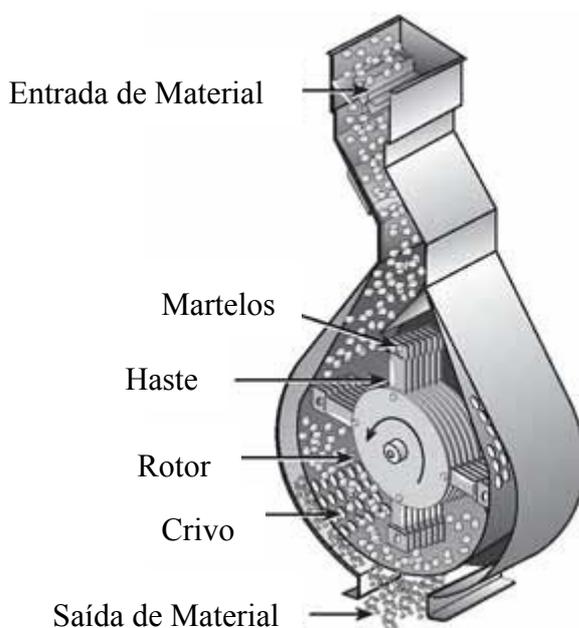


Figura 18: Esquema de funcionamento de um moinho de martelos
(Feedmachinery.com, 2004)

O crivo utiliza-se para limitar o tamanho máximo das partículas à saída do destroçador. O moinho de martelos utilizado tem um crivo com 3 mm, pelo que não se prevê o aparecimento de partículas de granulometria superior a esse valor, no entanto este facto vai ser analisado posteriormente.

3.3 SECAGEM DA *ACÁCIA DEALBATA*

Como na natureza, e segundo Castro (2009), a *Acácia dealbata* tem um teor de humidade de 42,14 %, e para a produção de peletes se deseja um teor de humidade de 10 %, tem de se efetuar uma secagem prévia do material. Com o objetivo de reduzir o consumo energético, optou-se por se executar a secagem com a utilização de uma estufa solar.



Figura 19: Estufa solar, com indicação do local de colocação do material a secar.

Nesta situação, a *Acácia dealbata* após destroçamento é colocada no local assinalado pelas setas. Este equipamento permite secar qualquer material, sem que seja necessário depender de outra forma de energia, aproveitando a energia solar.

Quando as lascas de madeira se encontram com a humidade desejada, retiram-se e realiza-se a sua caracterização. Na caracterização efetua-se também a determinação da humidade inicial da *Acácia dealbata*, uma vez que a humidade indicada anteriormente é um valor médio para a região de Viseu, e não a humidade específica da *Acácia dealbata* utilizada. Na fase de caracterização do material, anteriormente à operação de peletização, efetua-se uma medição da humidade com vista a confirmar que o teor de humidade após secagem se encontra dentro dos valores desejados para que a peletização ocorra sem problemas de maior.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DE BASE

Nesta fase caracterizam-se os materiais utilizados. As características mais importantes do material de base para a produção de peletes são a humidade e a análise granulométrica.

A determinação da humidade é efetuada com a colocação do material numa estufa a 105° C, até que não se verifique qualquer alteração no peso. Isto verifica-se quando a humidade da madeira for completamente eliminada. Assim, no caso da *Acácia dealbata* a humidade inicial determinada para 12 amostras foi da ordem de $38,91 \pm 2,61$ % na base húmida.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas de cada amostra. A medição de cada partícula é impossível pelo que esta caracterização se efetua recorrendo à separação mecânica em classes dimensionais e à determinação da sua massa de modo a se obter uma distribuição estatística.

O método mais utilizado para a determinação granulométrica de uma amostra é a peneiração. Um peneiro para este tipo de análise consiste num suporte metálico com forma cilíndrica onde se encontra uma rede de malha calibrada. Os peneiros estão concebidos para encaixarem formando uma coluna de peneiração com um recetor no fim. Neste caso, e como se desejava uma análise detalhada, foram utilizados os peneiros que estavam disponíveis, para tamanhos entre os 3350 µm e os 355 µm de acordo com a norma ASTM. A peneiração foi efetuada durante 10 minutos de forma intermitente.



Figura 20: Fotografia de um peneiro e do equipamento de Retsch AS200 Control (Alibaba, 1999). (Retsch, n.d.)

As dimensões de uma partícula esférica podem ser definidas de forma inequívoca pelo seu diâmetro, no entanto, a maior parte das partículas não tem essa forma. Um método simples de se definir o tamanho é considerar que o diâmetro das partículas é o valor da média do tamanho da malha dos dois peneiros sucessivos entre os quais as partículas foram separadas.

Conhecida a repartição em massa da carga que está a ser avaliada pelos vários peneiros é possível calcular-se uma média ponderada da distribuição de partículas, apresentando o resultado sob a forma de um valor médio, ou sob a forma de gráfico.

Efetou-se assim a caracterização granulométrica para a *Acácia dealbata* e para as cascas de avelã. Obtiveram-se os valores referentes ao peso retido em cada peneiro que se encontram na tabela seguinte:

Peneiro	<i>Acácia dealbata</i>
3350 μm	100
2800 μm	500
2360 μm	992
2000 μm	1451
1700 μm	1582
1400 μm	1382
1180 μm	1347
1000 μm	974
850 μm	892
710 μm	517
600 μm	349
500 μm	276
355 μm	94

Tabela 4: Tabela com o peso em gramas que ficou retido em cada peneiro.

Com os dados da tabela anterior é possível calcular o diâmetro médio da *Acácia dealbata*, por aplicação da metodologia anteriormente exposta. Calcula-se:

1. A média entre os tamanhos das malhas de dois peneiros sucessivos;
2. Soma-se a massa que se encontra em cada peneiro, confirmando a massa total da amostra que foi ensaiada;
3. Calcula-se a fração mássica que se encontra em cada peneiro;
4. Multiplicando a média entre os tamanhos das partículas pela fração mássica em cada peneiro obtém-se o diâmetro médio desejado.

Com estes cálculos é possível obter o diâmetro médio da *Acácia dealbata*, obtendo um valor de $1471,0 \pm 90,87 \mu\text{m}$.

No gráfico seguinte representa-se a distribuição de tamanhos. Como se pode verificar a quantidade de material que tem dimensões superiores a 3 mm é muito reduzida.

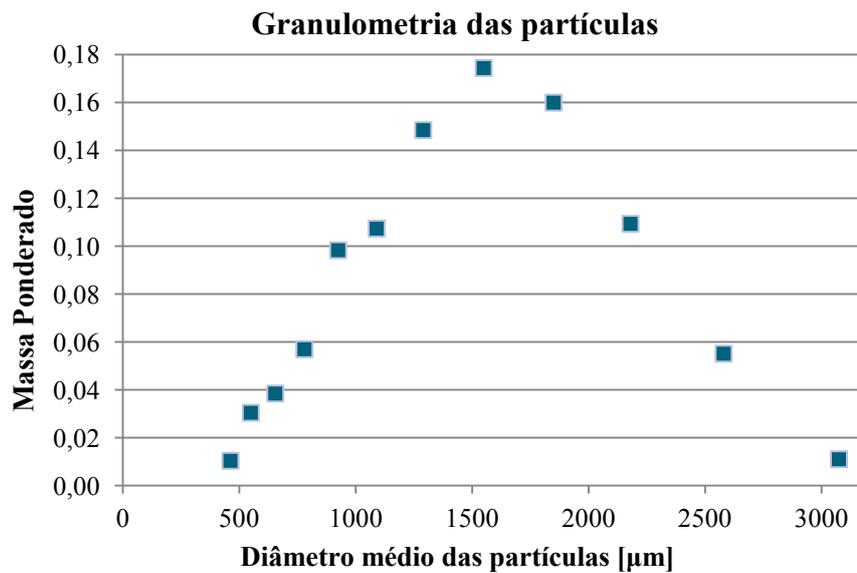


Figura 21: Representação gráfica da distribuição de granulométrica das partículas, em massa ponderada.

3.5 PELETES DE COMPRESSÃO PURA

Após a caracterização das matérias-primas que se iriam utilizar na produção dos peletes passou-se à criação de misturas com teores diferentes de *Acácia dealbata* e casca de avelã, com o objetivo de encontrar uma composição ideal para a produção de peletes. Uma vez que o espectro de misturas possíveis é muito amplo, testaram-se misturas igualmente espaçadas de 20 %. No entanto, e como a casca de avelã é muito frágil, e quando quebra dá origem a um pó muito fino que não se consegue compactar, optou-se por não se testarem amostras com 80 % de casca com 20 % de *Acácia dealbata*.

Foi também criada uma amostra com uma mistura de *Pinus pinaster* com *Acácia dealbata*. O *Pinus pinaster* é um material amplamente utilizado na produção de peletes, pelo que esta mistura seria uma com menor dificuldade de obtenção de peletes.

As misturas foram criadas em percentagem mássica, de acordo com os dados indicados na tabela seguinte:

	100A	100A+H	80A	60A	50A	40A	0A
Percentagem de <i>Acácia dealbata</i>	100	100	80	60	50	40	0
Percentagem de Cascas de Avelã	0	0	20	40	0	60	100
Percentagem de <i>Pinus pinaster</i>	0	0	0	0	50	0	0

Tabela 5: Caracterização das misturas

Estas misturas foram baseadas nas frações mássicas das biomassas utilizadas, no entanto, e como se pode ver, foi também testada uma humidade diferente para a mistura com 100 % de *Acácia dealbata* que se encontra assinalada com 100A+H. O material utilizado para esta mistura tem um teor de 33%. As restantes amostras foram criadas com teor de 23 %.

Com estas misturas criaram-se peletes de compressão pura, utilizando uma máquina INSTRON Universal Testing Machine, com uma célula de carga de 100 kN, conforme se mostra no esquema da Figura 22.

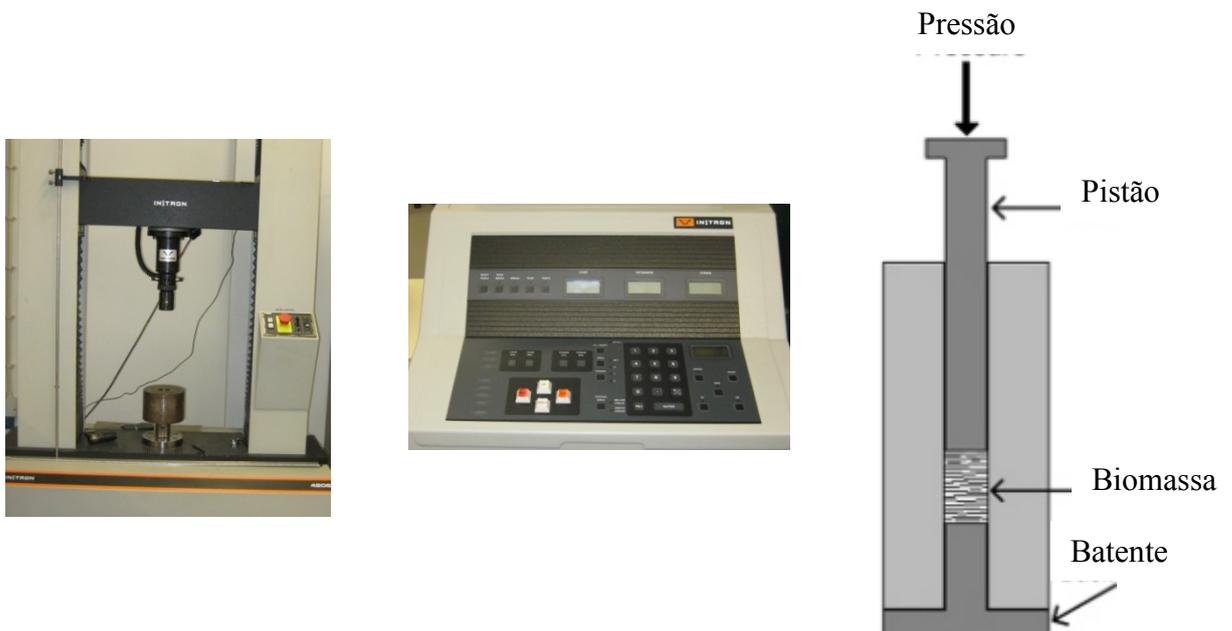


Figura 22: Máquina INSTRON Universal Testing Machine, a consola e esquema do equipamento para produção de peletes de compressão pura.

Este equipamento é utilizado para comprimir o material simulando-se assim o procedimento de fabricação do pelete ao mesmo tempo que se regista a evolução da pressão de compressão e conseqüente deformação do pelete. Aplica-se uma pré-carga de 1 kN, sendo posteriormente aplicada a carga a uma taxa de 7 kN / min sendo a aplicação da carga em função do tempo indicada na Figura 23.

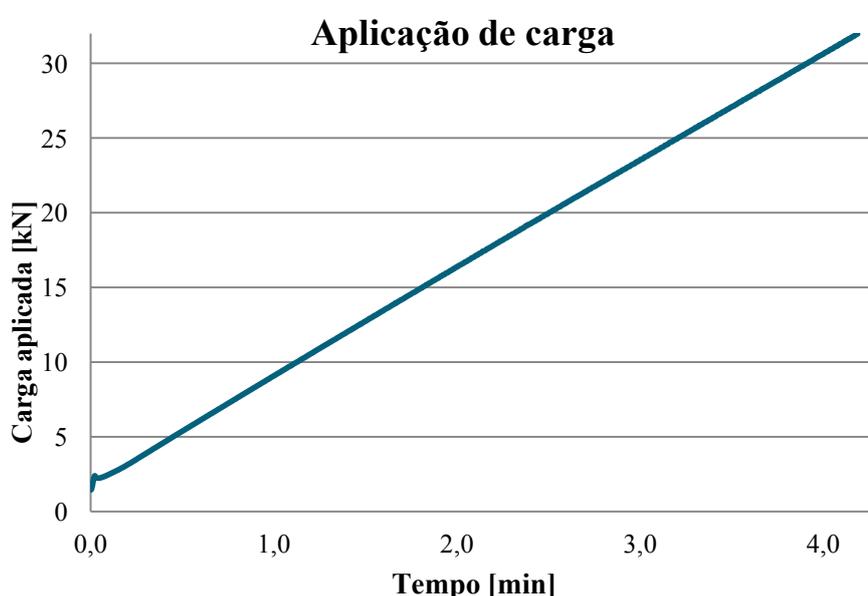


Figura 23: Representação gráfica da aplicação de carga em função do tempo.

Com este esquema de aplicação de carga, foram fabricados peletes que se designaram por peletes de 8, 16 e 32 kN. Esses peletes foram constituídos com as misturas indicadas acima, tendo sido também testadas duas humidades diferentes.

Os peletes de compressão pura são caracterizados em função das suas dimensões. Foram fabricados utilizando uma matriz com diâmetro de 10 mm, obtendo-se no entanto peletes com comprimentos e aspetos diferentes.

Na figura seguinte encontram-se as fotografias dos peletes de compressão pura.

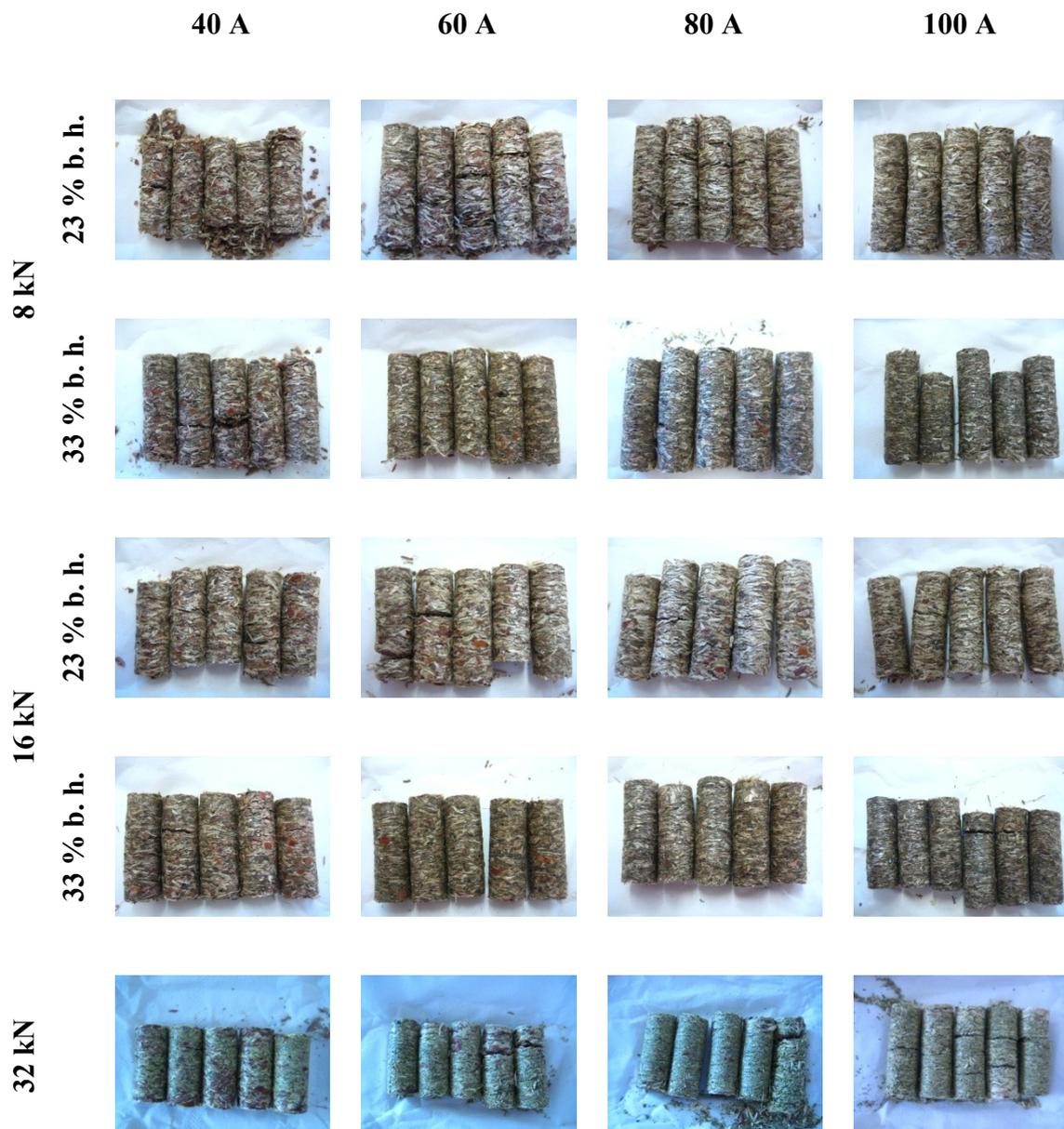


Figura 24: Fotografias dos peletes de compressão pura.

Estes peletes têm as dimensões que se podem visualizar na figura que se segue:

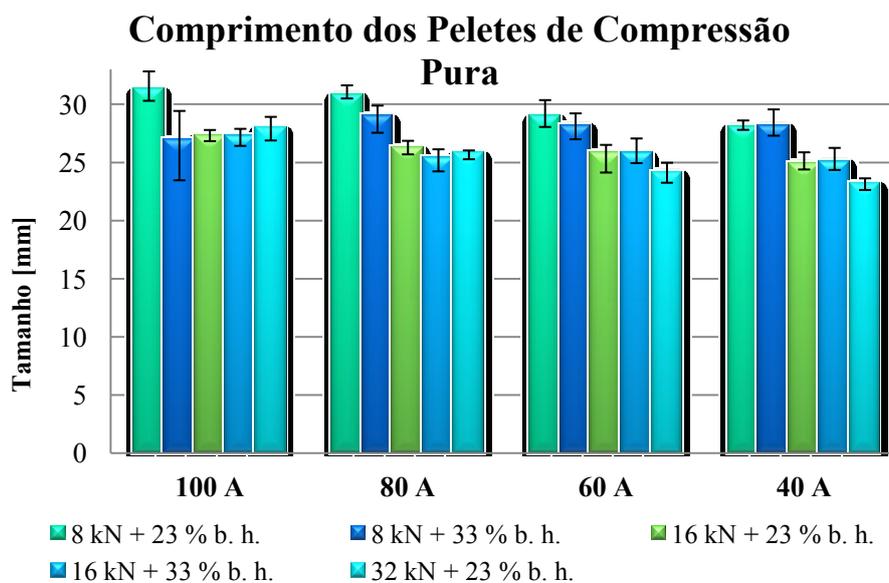


Figura 25: Representação gráfica dos valores médios do comprimento dos peletes de compressão pura obtidos para diferentes misturas e cargas aplicadas. Encontra-se também representado o desvio padrão máximo e mínimo.

3.6 PELETIZAÇÃO INDUSTRIAL

Para realizar a peletização industrial, utilizou-se uma extrusora industrial de marca AGP International modelo GK5500. Neste caso, o diâmetro dos orifícios da matriz utilizada foi de 6 mm.



Figura 26: Matriz com os roletes colocados. São os roletes que efectuem a compressão da madeira. Várias matrizes com diferentes diâmetros, que se utilizam para criar peletes com diâmetros diferentes. (Agico Group, 2008)

Os peletes de *Acácia dealbata* produzidos com este equipamento têm um elevado teor de finos.

	Massa		%	
	Finos	Peletes	Finos	Peletes
100 A + 33 % b. h.	0,1703	0,7897	17,74	82,26
100 A + 23 % b. h.	0,1094	0,1778	38,09	61,91
80 A	0,3763	0,2001	65,28	34,72
60 A	0,1201	0,4868	19,79	80,21
50 A	0,1690	0,1398	54,73	45,27
40 A	0,1583	0,5075	23,78	76,22
0 A	1,3357	0,3136	80,99	19,01

Tabela 6: Tabela de percentagem de teor mássico de finos e percentagem de peletes produzidos.

Estes finos são considerados todas as partículas com dimensões inferiores a 3,35 mm. A sua remoção é levada a cabo pela utilização de um peneiro com essa dimensão sendo a peneiração efetuada manualmente. Os finos podem ser reintroduzidos na fase de peletização.

Os peletes produzidos com as misturas anteriormente indicadas na peletizadora industrial podem visualizar-se na figura seguinte:



100 A 23 % b. h.

100 A 33 % b. h.

Figura 27: Nesta figura temos as fotografias dos peletes de 100 % de *Acácia dealbata*, com humidade de 23% e 33 % b. h.



80 A



60A

Figura 28: Peletes de 80% de *Acácia dealbata* 20 % de Casca de Avelã e 60 % de *Acácia dealbata* 40 % de Casca de Avelã.



50A



40 A

Figura 29: Peletes de 50 % de *Acácia dealbata* 50 % de *Pinus pinaster* e de 40 % *Acácia dealbata* 60 % de Casca de Avelã.



Figura 30: Peletes de 100% de Casca de Avelã.



3.7 TESTES EFETUADOS AOS PELETES

Alguns dos parâmetros indicativos da qualidade dos peletes encontram-se relacionados com a sua durabilidade mecânica (DM) e massa volúmica, nomeadamente o desgaste mecânico que leva ao aparecimento de finos durante o transporte e à redução da qualidade do material entregue ao consumidor.

O aparecimento de finos nos peletes elimina um dos fatores que favorecem e estimulam a escolha desta forma de combustível sólido, ou seja, a possibilidade de sistemas automáticos de alimentação, uma vez que leva ao entupimento dos mesmos.

A durabilidade mecânica é assim um parâmetro de qualidade definida pela capacidade de biocombustíveis sólidos de não se desagregarem quando são manipulados. Este parâmetro está relacionado com a resistência ao choque e/ou fricção.

A massa volúmica dos peletes também é um aspeto importante para a sua qualidade. No entanto, e para o caso dos peletes, pode efetuar-se o cálculo de duas formas distintas. Num dos casos é considerada a massa volúmica de um conjunto de peletes, no outro contabiliza-se a massa volúmica de cada partícula, apresentando um valor médio.

A massa volúmica tem influência no poder calorífico volúmico, uma vez que valores superiores da primeira se traduzem em valores superiores do segundo.

Foi também verificada a humidade que os peletes industriais possuem após a sua produção. Este valor determina-se colocando os peletes numa estufa com uma temperatura controlada de 105 °C (Oberberger & Thek, 2010).

3.7.1 DURABILIDADE MECÂNICA

A norma que define o equipamento a utilizar para a determinação da durabilidade mecânica é a ASAE S 269.4, e indica que este deve ser constituído por uma caixa em alumínio ou aço inoxidável com $300 \times 300 \times 125$ mm e deve ter no interior um deflector com 230×50 mm de comprimento no interior. Este deflector deve ser colocado na diagonal de um dos lados da caixa.

Um esquema da caixa pode ver-se na figura seguinte:

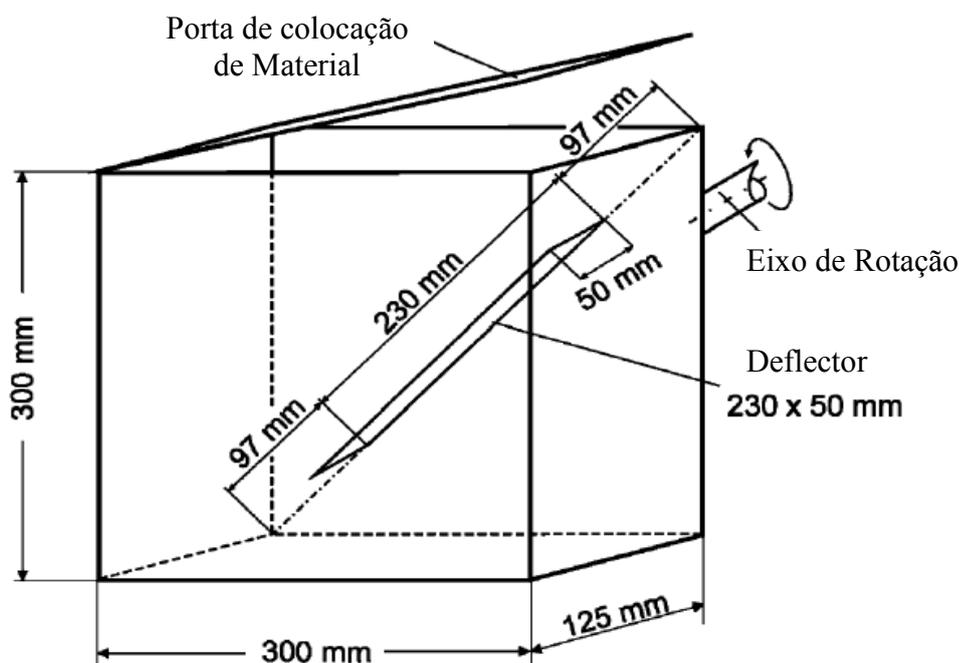


Figura 31: Dispositivo para efetuar os testes de durabilidade mecânica de acordo com a norma ASAE S269.4 (Temmerman et al., 2006)

A norma ASAE S 269.4 define também que para a determinação da durabilidade mecânica que o equipamento deve ser colocado a rodar em torno do eixo, com uma rotação de 50 rpm durante 10 min. Deve realizar-se a análise de 500 g de cada vez, e posteriormente o conteúdo da caixa deve ser manualmente peneirado com um peneiro de 3,15 mm.

A durabilidade mecânica é expressa em percentagem de massa que fica retida no peneiro em função da massa inicial da amostra (Temmerman et al., 2006).

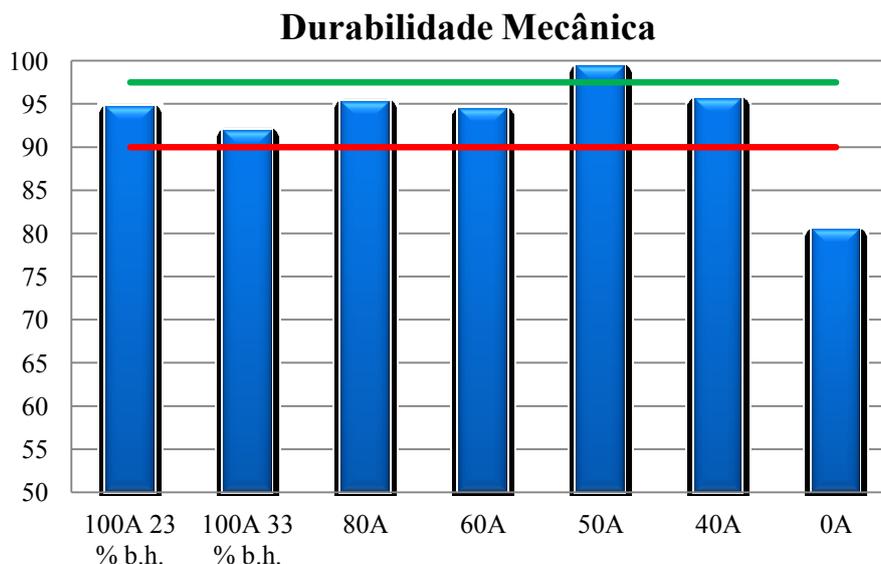


Figura 32: Durabilidade mecânica para as várias misturas. A vermelho o limite de 90 %, abaixo do qual os peletes não têm qualquer utilização. Para aplicações domésticas, os peletes têm de ter uma durabilidade mecânica mínima de 97,5 (linha a verde). Os valores entre 90 e 97,5 têm utilização industrial.

Os peletes para terem aplicação comercial têm de ter uma durabilidade mecânica mínima de 90 % de acordo com a norma ASAE S 269.4. Como se pode ver nesta representação gráfica, a maior parte das amostras tem um valor que ultrapassa esse limite. Apenas a amostra de 100 % de casca de avelã tem um valor inferior.

No entanto, todas as outras misturas têm durabilidade mecânica suficiente para que a sua aplicação industrial. Este é o caso dos peletes com durabilidade mecânica entre os 90 e os 97,5 %.

Para aplicação doméstica, no entanto os peletes têm de ter uma durabilidade mecânica superior a 97,5 %. Como se verifica no gráfico acima, apenas a mistura efetuada com 50 % de *Acácia dealbata* e 50% de *Pinus pinaster* tem valor acima deste limite. Este valor elevado de durabilidade mecânica é provável que se deva à existência de *Pinus pinaster* na mistura.

3.7.2 DIMENSÕES DOS PELETES INDUSTRIAIS

As dimensões são uma característica importante, e de acordo com a ÖNORM M 7135, nos peletes industriais deve escolher-se 20 peletes de forma aleatória de todos os peletes produzidos. As dimensões e massa dos peletes devem ser medidas.

Para efetuar a medição das dimensões utilizou-se um paquímetro digital de marca **Helios** como o que se pode ver na figura seguinte:

Os valores do comprimento dos peletes podem visualizar-se na figura seguinte:

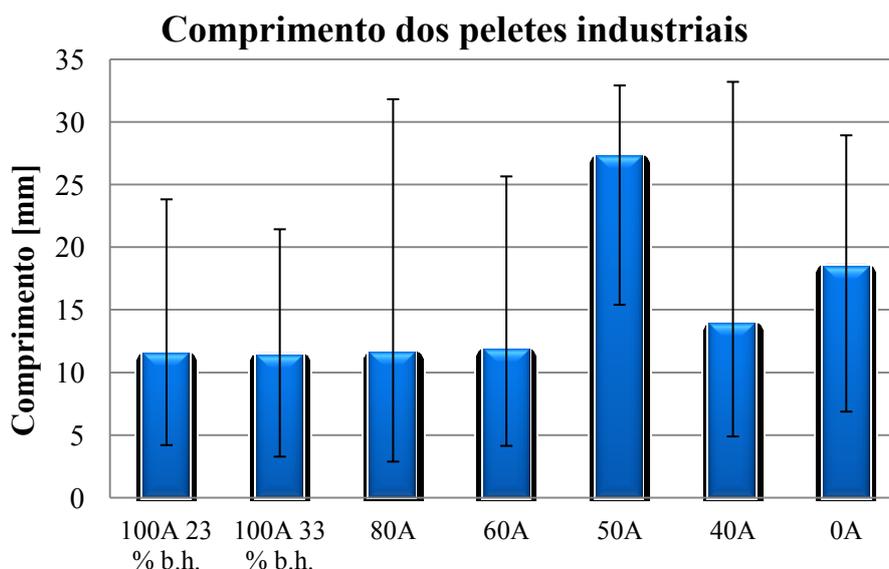


Figura 33: Representação do comprimento dos peletes em função da mistura que os constituem.

Para efectuar as pesagens utilizou-se uma balança de marca **Precisa 6200 D**. Esta balança foi utilizada para criar as misturas de *Acacia dealbata* e Casca de Avelã.

O diâmetro dos peletes produzidos industrialmente não tem grande variação, uma vez que são produzidos com a mesma matriz. Deve referir-se que, após a peletização se dá uma pequena contração, pelo que o seu diâmetro é ligeiramente inferior ao diâmetro da matriz.

Na tabela seguinte apresenta-se o valor médio e desvio padrão dos diâmetros e massas determinados:

	100A	100A+H	80A	60A	50A	40A	0A
Massa [g]	0,4400 ± 0,2231	0,3606 ± 0,2521	0,6295 ± 0,1289	0,5086 ± 0,2235	0,1474 ± 0,2033	0,6474 ± 0,3514	0,3786 ± 0,3059
Diâmetro [mm]	5,9150 ± 0,1094	5,9035 ± 0,0667	5,9140 ± 0,0423	5,8963 ± 0,0459	5,9300 ± 0,0273	5,8905 ± 0,0533	5,9090 ± 0,0609

Tabela 7: Valores médios e desvio padrão para a massa e diâmetro das amostras dos peletes industriais.

Estes dados são relevantes para os cálculos da massa volúmica aparente, assim como do quociente entre o comprimento e o diâmetro. Este parâmetro é importante uma vez que interfere com a facilidade de alimentação nos sistemas de queima. Se for superior a 5, existe o risco de entupimento.

Considerando que os peletes escolhidos são representativos do material produzido, é possível determinar o quociente. Os valores obtidos para os peletes escolhidos e medidos, podem ser visualizado no gráfico seguinte:

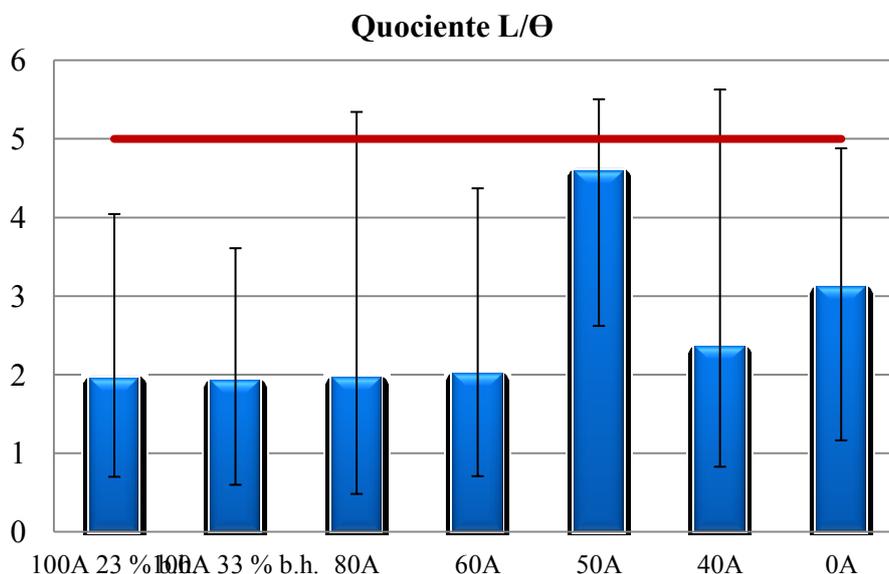


Figura 34: Representação do quociente entre o comprimento e o diâmetro. A vermelho encontra-se representado o valor limite de 5.

No caso das misturas testadas os valores médios não excedem esse valor. Os valores mais elevados que surgiram devem-se ao facto de não se ter colocado em ação a faca que limita o comprimento do pelete no momento da sua fabricação.

3.7.3 MASSA VOLÚMICA APARENTE / MASSA VOLÚMICA DA AMOSTRA

A massa volúmica aparente é o valor que se obtém considerando cada pelete individualmente. Para isso devem escolher-se 20 peletes de forma aleatória, que são medidos (comprimento e diâmetro) e pesados. A forma dos peletes é aproximada a um cilindro, e com estes dados, e utilizando as equações (2) e (3), calcula-se o volume de cada pelete e a massa volúmica da partícula.

Para o cálculo da massa volúmica da amostra coloca-se um peso previamente determinado numa vasilha e efetua-se o seu nivelamento, deixando-se cair de uma altura de 15 cm. O volume ocupado é determinado considerando que este se encontra preenchido por água à temperatura e pressão atmosférica.

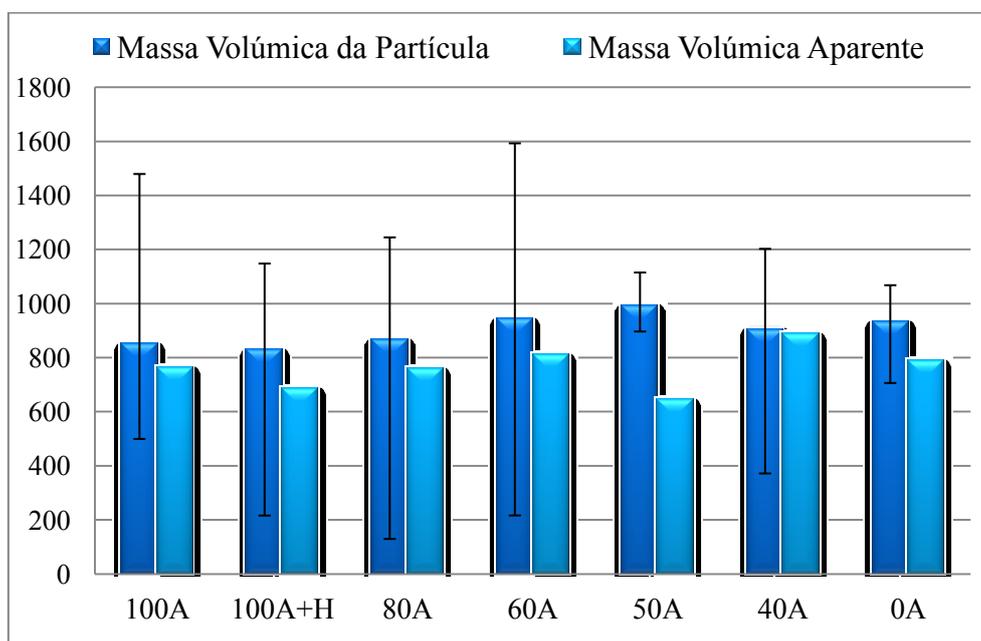


Figura 35: Comparação gráfica entre a massa volúmica da partícula e a massa volúmica aparente para as várias misturas. Para o caso da massa volúmica da partícula apresenta-se o valor médio e desvio padrão máximo e mínimo.

A diferença entre os valores da massa volúmica deve-se à existência de ar entre os peletes, que leva a uma redução do seu valor.

3.7.4 HUMIDADE DOS PELETES INDUSTRIAIS

Para a determinação da humidade dos peletes industriais, estes foram pesados e colocados no forno a 105 °C. A evolução da massa dos peletes é avaliada com tempo durante o procedimento de secagem. Após não se verificar qualquer variação na respetiva massa, considerou-se que a humidade foi totalmente removida. Para este caso escolheu-se uma amostra de 100 g de cada mistura de *Acacia dealbata* e Casca de Avelã.

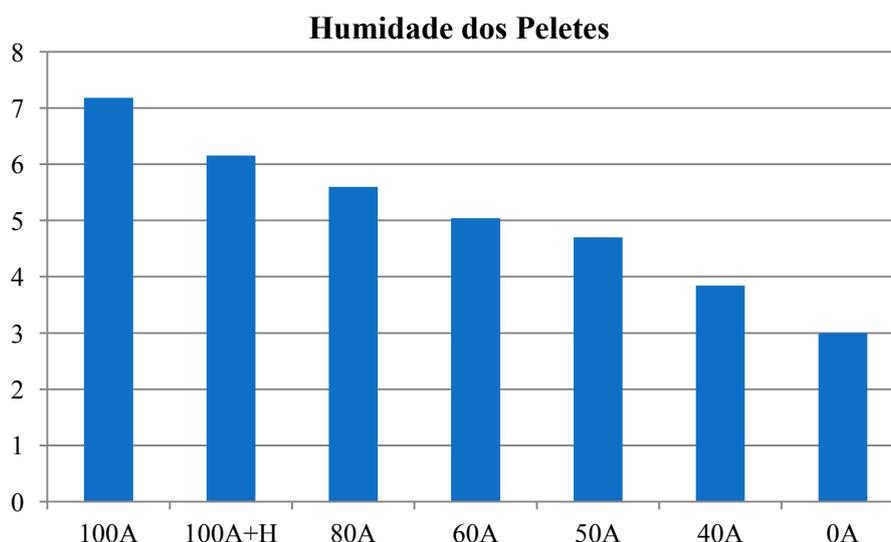


Figura 36: Representação gráfica da humidade dos peletes, em percentagem na base húmida.

A humidade obtida nos peletes industriais é em qualquer dos casos inferior ao limite máximo que se encontra estabelecido nos 10 %. Embora se tenham produzido peletes com humidades superiores a 12 % na base húmida, esse facto não foi impeditivo de se obterem peletes com humidade dentro dos limites estabelecidos pelas normas.

A sua variação também tem o comportamento esperado, uma vez que a humidade diminui com o aumento do teor de casca de avelã. A avelã é uma biomassa bastante seca, pelo que o facto da humidade dos peletes obtidos apenas com essa matéria-prima ser a mais baixa era expectável.

*Success is a science; if you have the conditions, you
get the result.*

Oscar Wilde

4 RESULTADOS OBTIDOS

A *Acácia dealbata* foi destrocada com a utilização do moinho de martelos com referência GKLC-19PK2010. Como indicado anteriormente, foi utilizado um crivo de 3 mm. Verifica-se o aparecimento de uma pequena percentagem de 1,1 % de partículas de dimensões superiores.

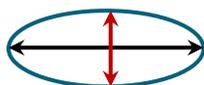


Figura 37: Forma das partículas de *Acácia dealbata* destrocada. Estas têm uma forma alongada, com uma dimensão (a preto) superior à outra (a vermelho).

As partículas têm uma forma alongada semelhante a um grão de arroz (elipsoide de revolução). As partículas de *Acácia dealbata* têm esta forma, uma vez que é mais fácil fragmentar a madeira num sentido que no outro.

Como se calculou, as partículas de *Acácia dealbata* que foram obtidas após o processo de destrocamento apresentam um diâmetro médio de $1471,0 \pm 90,87 \mu\text{m}$, a sua distribuição de tamanhos tem uma forma de sino tal como seria de esperar. Nos peletes industriais com 100 % de *Acácia dealbata*, com humidade superior apresenta uma percentagem menor de finos. De entre as misturas testadas a que produziu menor teor de finos foi a com 60 % (m/m) de *Acácia dealbata*.

Em relação à durabilidade mecânica, os valores obtidos para a maioria das misturas encontram-se dentro do intervalo permitido. Isto apenas não se verifica no caso da produção de peletes com casca de avelã. No entanto, de entre as misturas testadas apenas uma (com 50 % de *Acácia dealbata* + 50 % de *Pinus pinaster*) tem durabilidade mecânica suficientemente elevada para poder ter aplicação doméstica.

Os valores obtidos para o quociente entre o comprimento e o diâmetro têm todos valores médios no intervalo permitido, no entanto existem alguns com um quociente superior a 5. Esses valores excessivos podem ultrapassar-se com a utilização da faca.

A humidade dos peletes obtidos encontra-se com valores dentro dos limites estabelecidos pela norma.



*Enough research will tend to support your
conclusions.*

Arthur Bloch

5 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos deste trabalho, efetuou-se o estudo de um material de base para a produção de peletes, focando-o na *Acácia dealbata* e cascas de avelã.

Deste estudo foi possível verificar que com estas matérias-primas, se podem obter peletes com durabilidade mecânica suficiente para utilização industrial (valor superior a 90 %), embora o valor obtido não seja o suficiente para a utilização doméstica que exige um valor superior a 97,5 %.

Todos os peletes industriais produzidos têm um teor de humidade abaixo do valor estabelecido pela norma ou seja abaixo dos 10 % (m/m) na base húmida.

Com os resultados obtidos, os peletes de *Acácia dealbata* demonstraram ser uma oportunidade de valorização de um biomaterial com conotação de infestante. Isto pode também levar a uma melhoria do ponto de vista económico, uma vez que pode levar à redução da importação de combustíveis fósseis.

Quer do ponto de vista económico quer do ponto de vista de desenvolvimento energético do país, o aparecimento de uma fonte de energia endógena que substitua a importação de combustíveis fósseis é uma mais-valia. O aparecimento de indústrias de produção de peletes com base na *Acácia dealbata* pode também fomentar o emprego na exploração florestal mas também com o aparecimento de indústrias anexas inerentes assim como comércio que se pode desenvolver. Este desenvolvimento económico baseado no aumento do emprego é ampliado com a redução das aquisições ao exterior aumentando as divisas que ficam no país.

Gostaria no entanto de realçar que este estudo pode servir para abrir portas para novos e mais profundos estudos que levem a que passe a ser possível a utilização residencial dos peletes de *Acácia dealbata*. Em complemento com a utilização exclusiva da *Acácia dealbata* na produção de peletes, é possível que a torrefação da *Acácia dealbata* leve a que se obtenha valores de durabilidade mais elevados. Isto é o que acontece quando se considera *Pinus pinaster* torrado, estando demonstrado que a utilização de material torrado reduz a energia necessária para peletizar, melhora a durabilidade mecânica sendo também maximizado o poder calorífico.

Outro aspeto importante deverá ser a determinação do poder calorífico e do teor de cinzas, uma vez que estes são fatores muito importantes na definição da qualidade dos peletes. Uma propriedade muito importante das cinzas encontra-se relacionada com a sua composição, uma vez que as cinzas podem ter efeito catalítico afetando de forma positiva as taxas de combustão. No entanto podem também ter componentes que limitem de forma importante a combustão pela formação de componentes corrosivos.



6 BIBLIOGRAFIA

- Agico Group, 2008. *Agico Group*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.ascof.com/Pellet-Mill/> [Acedido em 19 Junho 2011].
- Alakangas, E., Valtanen, J. & Levlin, J.E., 2006. CEN technical specification for solid biofuels—Fuel specification and Classes. In Elsevier, ed. *Biomass & Bioenergy*. 30th ed. Espoo, Finland: Elsevier. pp.908-14.
- Alibaba, 1999. *Alibaba*. [Na Rede] Disponível em: <http://portuguese.alibaba.com/product-gs/laboratory-coal-sieve-analysis-equipment-377543418.html> [Acedido em 16 Junho 2011].
- Ananias, R., Salvo, L., Estrada, R. & Briones, R., 2008. *Estudio Experimental Del Secado a Temperaturas Convencionales de Acacia*. Concepcion, Chile: Universidad del Bio - Bio.
- Antique maps, 2011. *Antique maps and prints*. [<http://www.antiquemapsandprints.com/p-11639.jpg>] Disponível em: <http://www.antiquemapsandprints.com/> [Acedido em 06 Abril 2011].
- Armstrong, W., 2009. *W.P. Armstrong*. [Na Rede] Disponível em: <http://waynesword.palomar.edu/ecoph8.htm> [Acedido em 27 Maio 2011].
- Blom, G., 2009. *Wood 493 The Feasibility of a Wood Pellet Plant Using Alternate Sources of Wood Fibre*. Faculty of Forestry.
- Burncoose, 2011. *Silver wattle, Mimosa*. [Na Rede] Disponível em: http://www.burncoose.co.uk/site/plants.cfm?pl_id=30 [Acedido em 17 Maio 2011].
- Castro, A., 2009. *Acacia Dealbata Link: quantificação e Análise da Distribuição Espacial no Concelho de Viseu*. Trabalho Final de Curso. Viseu: Escola Superior Agrária.
- CEN, 2005. *CEN*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.pelletshop.be/CEN.pdf> [Acedido em 2011 Maio 17].
- Champagne, P., 2008. Biomass. In Letcher, T.M. *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*. Oxford: Elsevier.
- Chen, W. & Kuo, P., 2010. Torrefaction of Various Biomass Materials and its impact on Lignocellulosic Structure Simulated by a thermogravimetry. In Elsevier, ed. *Energy*. 35th ed. Taiwan: Elsevier. pp.2580-86.
- Colophon, 2005. *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations*. Zg Petten: ECN Biomass.
- CTC, 2011. *Peletização*. [Na Rede] Disponível em: http://www.ctcanavieira.com.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=411&Itemid=1365 [Acedido em 18 Maio 2011].
- Demirbas, A., 2003. Combustion characteristics of different biomass fuels. In Elsevier, ed. *Progress in Energy and Combustion Science*. 30th ed. Konya, Turkey: Elsevier. pp.219-30.
- Demirbas, A., 2007. Fuel Characteristics of Olive Husk and Walnut, Hazelnut, Sunflower, and Almond Shells. In T.& Ffrancis, ed. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. Trabzon, Turkey: Taylor & Ffrancis. pp.215-21.
- Demirbas, A., 2009. *Biofuels Securing the Planet's Future Energy Needs*. Trabzon, Turkey: Springer.



Demirbas, A., 2009. Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. In Elsevier, ed. *Applied Energy*. 86th ed. Trabzon, Turkey: Elsevier. pp.S108-17.

Ehow, 1999. *Ehow*. [Na Rede] Disponível em: http://www.ehow.com/info_8202876_nut-shells.html [Acedido em 28 Maio 2011].

El Bassam, N., 2010. *Handbook of Bioenergy Crops; A Complete References to Species, Development and Applications*. Washington DC: Earthscan.

Feedmachinery.com, 2004. *Feedmachinery.com*. [Na Rede] Disponível em: http://www.feedmachinery.com/glossary/hammer_mill.php [Acedido em 17 Junho 2011].

Fernandes, M.J.S.M., 2008. *Recuperação Ecológica de Áreas Invasidas por Acacia Dealbata Link no Vale do Rio Gerês: Um Trabalho de Sísifo*. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes.

Freire, J., Tavares, M. & Campos, J., 2003. *Ritmos de Crescimento das Espécies Pinus Pinaster, Acacia Melanoxylon e Acacia Dealbata nas Dunas do Litoral Norte e Centro*. Oeiras: Estação Florestal Nacional.

Gravata e Saltos Altos, 2009. *Frutos Secos*. [Na Rede] Disponível em: <http://gravataesaltosaltos.blogs.sapo.pt/40033.html> [Acedido em 17 Maio 2011].

HAAS, 2003. *HAAS Turnkey Pellet Production Line*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.haas-recycling.de/en/produktnews-pelletieranlage.php> [Acedido em 17 Maio 2011].

IST, DGS, EcoFys & CEE, 2004. *Bioenergia, Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*. Lisboa.

Jenkins, D., 2010. *Wood Pellet Heating Systems*. Wales: Earthscan.

Jonsson, C., 2009. 1653-0187 *Wooden Fuel Pellets*. Master Thesis. Lulea University of Technology.

Kaliyan, N. & Morey, R., 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. In Elsevier, ed. *Biomass & Bioenergy*. 33rd ed. Minnesota: Elsevier. pp.337-59.

Kaliyan, N. & Morey, R.V., 2010. Densification Characteristics of Corn Cobs. *Fuel Processing Technology* 91.

Lorenzo, P., Gonzalez, L. & Reigosa, M., 2010. The Genus *Acacia* as invader: the characteristic case of *Acacia dealbata* Link in Europe. *Annals of Forest Science*, 67, p.101.

Marchante, E. & Marchante, H., 2005. *Mimosa*. [Na Rede] Disponível em: www1.ci.uc.pt/invasoras/files/13mimosa.pdf [Acedido em 14 Fev 2011].

Müller, A., 2009. *Unidade Escrita*. [Na Rede] Disponível em: <http://unidadescrita.blogspot.com/2009/11/mimosa-de-frances-ponge-floracao-e-um.html> [Acedido em 08 Jan 2011].

Northstone Materials, 2011. *Northstone Materials*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.northstonematerials.com/about-us/education/coating-process-and-coated-products/> [Acedido em 26 Maio 2011].

Obernberger, I. & Thek, G., 2004. Physical characterisation and chemical composition of densified fuel with regard to their combustion behaviour. *Elsevier*, 27(Biomass & Bioenergy), pp.653-69.

Obernberger, I. & Thek, G., 2010. *The Pellet Handbook - The production and thermal utilisation of biomass pellets*. Washington DC: Earthscan.

Panoutsou, C., 2011. Supply of Solid Biofuels. In Grammelis, P. *Solid Biofuels for Energy*. London: Springer - Verlag.



- Patervis, 2010. *Pellet Mills*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.patervis.com/pellets.html> [Acedido em 17 Maio 2011].
- Pimentel, D. & Patzek, T., 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Reacherch*, 14, pp.65-76.
- Quaak, P., Knoef, H. & Stassen, H., 1999. Biomass as a Fuel. In Quaak, P., Knoef, H. & Stassen, H. *Energy from Biomass*. Washington D.C.: Energy Series.
- Retsch, n.d. *Retsch*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.retsch.com> [Acedido em 19 Junho 2011].
- Roth, E., 2006. *What can we Expect from Wood Pellets?* [Na Rede] Disponível em: www.sealnet.org [Acedido em 14 Fev 2011].
- Schmitt Enertec, 2010. *Schmitt Enertec*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.schmitt-enertec.com/biomass/drying.htm> [Acedido em 26 Maio 2011].
- SendeCO2, 2011. *SendeCO2*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.sendeco2.com/uk/normativa.asp> [Acedido em 08 Jan 2011].
- Sobral, J., 2011. *Avaliação do Potencial Energético da Biomassa na Região de Dão-Lafões*. Trabalho Final de Curso do Mestrado de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Viseu: Escola Superior de Tecnologia de Viseu.
- Spooner, P., 2006. Response of acacia species to soil disturbance by roadworks in southern New South Wales, Australia. In Center, R.E., ed. *Road Ecology Center, John Muir Institute of the Environment, UC Davis*. Raleigh, 2006. UC Davis.
- Temmerman, M. et al., 2006. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. In Elsevier, ed. *Biomass & Bioenergy*. Elsevier. pp.964 - 972.
- Transagri, 2008. *Transagri*. [Na Rede] Disponível em: http://www.transagri-lda.com//index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 [Acedido em 16 Junho 2011].
- What is carbon cycle, 2011. *What is carbon cycle*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.environmentabout.com/648/what-is-carbon-cycle-and-how-it-works> [Acedido em 16 Maio 2011].
- World Wide Wattle, 2011. *World Wide Wattle*. [Na Rede] Disponível em: <http://www.worldwidewattle.com/infogallery/utilisation/acaciasearch/pdf/dealbata.pdf> [Acedido em 03 Junho 2011].
- WUSTL, 2011. *WUSTL*. [Na Rede] Disponível em: <http://classes.engineering.wustl.edu/mase-thermal-lab/me372b5.htm> [Acedido em 26 Maio 2011].