

Dissertação apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Professor Nuno Afonso Moreira e Co-Orientação Científica do Professor Doutor Amadeu Borges, ambos do Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Dedico este trabalho aos meus mais que tudo, Manuel Marques e Maria Diamantina Marques, pois são eles os melhores pais do universo e a eles devo tudo que hoje sou...

À minha irmã, Carina que apesar de me chatear muitas das vezes é uma pessoa que tudo faz em prole do próximo. Continua sempre assim e irás ser feliz...

À minha cara-metade, Sílvia, que sempre me ajudou a superar os meus medos e a enfrentar muitas dificuldades que passei.

Obrigado por tudo...

Obrigado por seres a mulher tão especial...

A minha avó Diamantina que tantas vezes rezou para que tudo me corresse bem...

Aos meus avós falecidos António, Manuel e Maria que antes de partirem me deixaram boas lições de vida...

E à pessoa que partiu recentemente, Augusta, que me acarinhou como um filho, o meu obrigado por tudo...

Aos amigos verdadeiros que sempre me acompanharam Bruno, Francisco, Anita e a Maria João...

Obrigado pelo incentivo e pelos momentos que me proporcionaram ...

Hoje sei o que vocês me transmitiram. Obrigado por serem assim...

*A todos o meu **Muito Obrigado!***

Agradecimentos

Este trabalho não seria bem sucedido se não fosse a colaboração do meu orientador Prof. Nuno Moreira, a quem deixo aqui expresso o meu muito obrigado, pelos comentários sempre oportunos, pela disponibilidade (apesar de ser escassa, mas crucial) e pela lição de vida transmitida.

Ao meu co-orientador Prof. Doutor Amadeu Borges, que sempre que possível se mostrou disponível para a realização da presente tese.

A todo o corpo docente do departamento de Engenharia Mecânica, pela excelente relação com os alunos e pelo profissionalismo que nos transmitiram ao longo da nossa “estadia” académica.

A todos os amigos que se fizeram aqui nesta academia, aqueles que se praxaram e a todos os colegas que por aqui passaram, e que, de uma forma directa ou indirecta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Assim e para terminar o meu muito obrigado a todos os que contribuíram para que eu tenha realizado um sonho...

Símbolos

Símbolos químicos

Ar – Argônio.

C – Carbono.

Cd – Cádmio.

Cl – Cloro.

CFC – Clorofluorcarboneto.

CH₄ – Metano.

CO – Monóxido de carbono.

CO₂ – Dióxido de carbono.

Cu – Cobre.

C₆H₁₀O₅ – Celulose.

H - Hidrogénio.

H₂O – Água.

HCl – Ácido clorídrico.

HCN – Cianeto de hidrogénio.

HFC – Hidrofluorcarboneto.

KCl – Cloreto de potássio.

Hg – Mercúrio.

K₂SO₄ – Sulfato de potássio.

N - Azoto.

NO – Óxido nítrico.

NO₂ – Óxido de azoto ou dióxido de nitrogénio.

N₂O – Óxido nitroso

NH₄Cl – Cloreto de amónio.

NH₃ – Amoníaco.

O – Oxigénio.

O₃ – Ozono.

Pb – Chumbo.

S - Enxofre.

SO₂ – Dióxido enxofre.

Zn – Zinco.

Unidades

€/ton – Euro por tonelada

°C - Grau Célsius.

cm - Centímetro.

g – Grama.

GJ/ton - Giga Joule por tonelada.

ha – Hectare.

ha/ano - Hectare por ano.

J – Joule.

kg – Quilo grama.

kJ/kg - Quilo Joule por quilo grama.

kg/m³ – Quilograma por metro cúbico.

kg/dm³ – Quilograma por decímetro cúbico.

kg/mm³ – Quilograma por milímetro cúbico.

kWh/kg - Quilowatt-hora por quilograma.

kWh/m³ - Quilowatt-hora por metro cúbico.

kW/ton - Quilowatt por tonelada.

kWh - Quilowatt-hora.

m – Metro.

m/s – Metro por segundo.

mm – Milímetros.

m³ – Metro cúbico.

m³/h – Metro cúbico por hora.

mil ton./ano – Mil toneladas por ano.

Mton./ha – Mil tonelada por hectare.

MW/ton – Mega Watt por tonelada.

Mtep – Mega tonelada equivalente de petróleo.

MWh - Mega Watt hora.

N/m² – Newton por metro quadrado.

ton. – Tonelada.

ton./ha – Tonelada por hectare.

ton/ ano - Tonelada por ano.

Abreviaturas

ADEN – Agência para Energia.

AIE- Agencia Internacional de Energia.

CEN – Comissão Europeia de Normalização.

CE – Comissão Europeia.

DGF – Direcção-Geral das Florestas.

DGRF – Direcção Geral dos Recursos Florestais.

EU- União Europeia.

INE – Instituto Nacional de Estatística.

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação.

NUTS – Nomenclatura estatística comum das unidades territoriais.

PCI – Poder calórico inferior.

PCMB – Poder calorífico mais baixo.

PCS - Poder calórico superior.

PC_{seco} – Poder calorífico de madeira sem água.

USA- Estados Unidos da América.

Resumo

Este estudo de viabilidade visa fundamentalmente a avaliação do potencial das diferentes espécies florestais e agrícolas na composição e conseqüentemente no poder energético quando incorporadas na produção de pellets.

Actualmente o potencial quantificável passa sobretudo pela biomassa florestal. O potencial de biomassa correspondente ao sector agrícola – resíduos da vinha, das podas de olivais e árvores de frutos, da azeitona – não é devidamente aproveitado energeticamente. Assim, para o estudo de viabilidade teremos que alargar o nosso conhecimento sobre cada espécie: poder calorífico, emissão de poluentes para a atmosfera, etc.

A produção de pellets, sob o ponto de vista económico, reveste-se de grande importância. Será necessário um conhecimento profundo do mercado, das infra-estruturas e da maquinaria envolvida.

Abstract

This viability study aims fundamentally the evaluation of the potential from different agricultural and forest species on composition and thus on energetic power when incorporated in the production of pellets.

Actuality the measured potential is mainly forest biomass. He biomass potential corresponding to the agricultural sector-vineyards waste, pruning of olive and fruit trees from olive- it's not energetically well taken. Go for the viability study we have to expand our knowledgement for each specie: calorific power, emission of pollutants into the atmosphere, etc.

Pellets production, economically seen, takes up great importance. It will be necessary a deep market knowledgement, either the infra-structures or evolved machinery.

Índice

Agradecimentos	I
Símbolos	II
Abreviaturas	VI
Resumo	VII
Abstract	VIII
Índice	IX
Índice de figuras	XI
Índice de tabelas	XIV
1. Introdução	3
2. Disponibilidade de Biomassa em Portugal Continental	6
2.1 Biomassa proveniente das florestas	6
2.2 Biomassa proveniente da agricultura (podas da vinha, frutícolas e olivais)	17
3. Normas e limites de incorporação de resíduos florestais e agrícolas na fabricação dos pellets	24
3.1 Pellets de biomassa florestal	24
3.2 Descrição da Norma	26
3.2.1 Características dos pellets	26
4. Mecânica da produção de pellets	34
4.1 Mecanismo e processo de peletização	36
4.1.1 Transporte	38
4.1.2.1 Recepção da biomassa	40
4.1.3 Preparação da fibra	40
<hr/>	
<i>Viabilidade de incorporação de resíduos florestais e agrícolas para produção de pellets</i>	IX

4.1.4 Trituração (Estilhamento)	40
4.1.5 Homogeneização	46
4.1.6 Secagem	47
4.1.7 Peletizador	49
4.1.7.1 Sistema de alimentação	50
4.1.7.2 Câmara de mistura	50
4.1.7.3.1 Matriz e rolo de pressão	51
4.1.7.3.2 Máquina peletizadora com matriz do tipo anel (cilíndrica vertical)	55
4.1.7.3.3 Máquina peletizadora com matriz do tipo disco (plana)	57
4.1.8 Arrefecimento	61
4.1.9 Separação de finos	62
4.2 Armazenagem/Empacotamento	62
4.3 Distribuição/Transporte	63
5. Combustão dos pellets	65
5.1 Propriedades de combustão dos Pellets	65
5.2. Emissões obtidas na combustão em função da biomassa incorporada nos pellets	66
5.2.1 Composição da biomassa florestal	66
5.3 Combustão da biomassa	67
5.3.1 Poluentes	70
5.3.2 Humidade da biomassa	72
6. Conclusões	74
7. Bibliografia	80

Índice de figuras

Figura 1 – Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Pinheiro Bravo</i> em Portugal Continental.	7
Figura 2 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Sobreiro</i> em Portugal Continental.	7
Figura 3 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Eucalipto</i> em Portugal Continental.	8
Figura 4 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Azinheira</i> em Portugal Continental.	8
Figura 5 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Pinheiro Manso</i> em Portugal Continental.	9
Figura 6 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Carvalhos</i> em Portugal Continental.	9
Figura 7 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Castanheiros</i> em Portugal Continental.	10
Figura 8 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Outras folhosas</i> em Portugal Continental.	10
Figura 9 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de <i>Outras Resinosas</i> em Portugal Continental.	11
Figura 10 - Distribuição do eucalipto, pinheiro bravo e outras espécies em Portugal continental (Fonte: DGRF, 2007).	13
Figura 11 – Biomassa triturada resultante das podas de árvores de fruto. (Fonte: www.bioware.com.br/secoes.aspx?id=28).	17
Figura 12 – Pellets (Fonte: Loução, 2008).	34
Figura 13 – Estilha (Fonte: Loução, 2008).	35
Figura 14 - Diagrama principal da produção de peletes de madeira (Fonte: adaptado, Loução, 2008).	37

- Figura 15 - Tractor agrícola (Fonte: http://images04.olx.pt/ui/2/13/12/17161112_1.jpg). 38
- Figura 16 – forwarder (Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Timberjack_Forwarder.jpg). 38
- Figura 17 - *forwarders* equipados com uma grua hidráulica (Fonte: <http://home.furb.br/erwin/colheita/skidder.jpg>). 39
- Figura 18 - Aspectos do Funcionamento de um Estilhador de Facas (Pezzolato) e do produto final produzido (Fonte: Pezzolato, 2006). 41
- Figura 19 - Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas (Fonte: www.barkdelivered.com). 42
- Figura 20 – Estilhador de facas CIP 1500 (Fonte: www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail). 42
- Figura 21 – Estilhador de facas, equipado com um guincho, o BC1400TX permite mover e levantar toros até 900 kg para cima da mesa de alimentação, reduzindo a necessidade de levantamento manual do operador (Fonte: www.vermeer.pt/pdf/processamento_arboricola/Vermeer_Processamento_Arboricola.pdf). 43
- Figura 22 - Aspectos do funcionamento de um estilhador de martelos (Fonte: Willibald, 2007). 44
- Figura 23 - Estilha resultante de uma trituração com martelos (Fonte: www.bmandm.com). 44
- Figura 24 - Estilhador de martelos BS 750 PTO (Fonte: www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail). 45
- Figura 25 – Secador do tipo tambor Rotativo (Fonte: Hansa Granul Ltda,2006). 47
- Figura 26 – a) Secador Rotativo, 1,80 m de diâmetro, por 8 m de comprimento, com base, roletes, redutora, motor 25 CV b) interior do secador rotativo (Fonte: http://ce.quebarato.com.br/classificados/secador-rotativo__2401065.html). 48
- Figura 27 - Vista lateral da representação esquemática do extrusor de parafuso-sem-fim axial (Fonte: adaptado por Hicks, Freese, 1989). 50

- Figura 28 - Esquema de compressão (Fonte: CTI, 2003), onde R- Fricção, μ - coeficiente de fricção, P- pressão da parede (N/m²), u- diâmetro do furo (m), k- compressão ($R=\mu*Ps*u*1\leq|K|$). 52
- Figura 29 – Esquemas estruturais dos extrusores de rolos (Fonte: adaptado por Hicks, Freese, 1989) (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322004000400003). 53
- Figura 30 – Rolos de pressão (Fonte:Loução, 2008). 53
- Figura 31 - Maquinaria principal de peletização, alimentada directamente desde o moinho de trituração (Fonte: www.pellet2002.com). 54
- Figura 32 – Linha de produção com 3 peletizadoras (Fonte: <http://www.arsalambiente.pt/docs/Sistema%20de%20Pellets.pdf>) 54
- Figura 33 - – Esquema estrutural de uma matriz do tipo anel, vista lateral (Fonte: www.salmatec-gmbh.de). 55
- Figura 34 – Esquema estrutural de uma matriz do tipo anel, vista frontal (Fonte: www.salmatec-gmbh.de, 2006). 56
- Figura 35 - Máquina peletizadora de matriz cilíndrica vertical (anel) (Fonte: Loução, 2008). 56
- Figura 36 – Esquema de matriz circular (Fonte: Adaptada, <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>). 57
- Figura 37 - Esquema estrutural de uma matriz plana (Fonte: www.salmatec-gmbh.de, 2006). 58
- Figura 38 - Esquema de uma matriz plana (Fonte: adaptada, <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>). 59
- Figura 39 - Esquema estrutural de uma peletizadora com matriz plana KAHL (Fonte: <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>). 60
- Figura 40 – Arrefecedor, (Fonte: Loução, 2008) 61
- Figura 41 – Empacotador de pellets, em sacos de papel (Fonte: Loução, 2008). 63
- Figura 42 - Diagrama do sistema de distribuição dos pellets aos consumidores (Fonte: Loução, 2008). 64
- Figura 43 - Influência do teor de humidade no poder calorífico da biomassa (Fonte: Tekes, 2007). 72

Índice de tabelas

Tabela 1 – Quantificação das espécies de árvores florestais em Portugal Continental em 1995/6 e 2005/6 (Fonte: DGRF, 2007).	12
Tabela 2 – Poder calorífico de vários resíduos florestais.	14
Tabela 3 - Poder calorífico de vários recursos herbáceos ou arbustivos.	14
Tabela 4 - Produção de resíduos florestais em Portugal por origem (Fonte: A.D. Little <i>et al</i> , 1985).	15
Tabela 5 - Potencial disponível de biomassa florestal.	16
Tabela 6 - Produção de biomassa florestal.	16
Tabela 7 - Características dos principais resíduos agrícolas herbáceos.	18
Tabela 8 – Resíduos das culturas temporárias (Fonte: João Dias, 2002).	19
Tabela 9 - Produção das principais culturas (Fonte: INE, 2009).	20
Tabela 10 - Produções medias anuais, a nível nacional, da biomassa proveniente das podas das principais culturas agrícolas de porte arbóreo, compiladas com base nos dados publicados nas estatísticas agrícolas 2008 (Fonte: INE, 2009).	22
Tabela 11 - Características físicas e parâmetros de fabrico dos peletes madeira, (Fonte: Obernberger and Thek, 2002).	28
Tabela 12 - Especificação das características dos pellets, adaptado segundo a norma CEN/TS 14961:2005:E.	29
Tabela 13 – Comparação entre pellets e estilha (Fonte: Loução, 2008).	36
Tabela 14 – Resultados da determinação do poder calorífico (variância e o intervalo de confiança) (Fonte: CBE, 2008).	65
Tabela 15 - Principais fontes de emissões poluentes da combustão da biomassa (Fonte: Werther <i>et al.</i> , 2000).	70

1. Introdução

É de uma forma genérica e reconhecida por todos que, o actual modelo energético, é algo insustentável e até mesmo irrealista, devido à enorme dependência que se faz sentir pelos combustíveis fósseis, principalmente pelo petróleo. Mediante estas circunstâncias e todos estes factores, é necessária uma revisão e reorientação das políticas energéticas a nível global, de forma a adoptar uma série de estratégias, entre as quais se destaca, a diversificação de fontes de energia e o crescente emprego de energias renováveis.

É neste contexto que a estratégia do aproveitamento energético da biomassa florestal e agrícola se revela de extrema importância para estes dois sectores, podendo mesmo contribuir, decisivamente, para o desenvolvimento rural e regional.

Neste sentido, e com a realização deste trabalho, pretende-se potenciar a exploração e o aproveitamento racional dos recursos florestais e agrícolas, em particular a componente resultante à biomassa, se otimizar os vários processos envolvidos na recolha, na triagem e no próprio armazenamento destes recursos. Presentemente quer a UE quer os EUA, as energias renováveis contribuem com 6% da energia primária usada, o que corresponde a cerca de 60 Mtep. Dada esta enorme importância relativamente à biomassa, uma vez que ela contribui com cerca de 60% no leque das energias renováveis, assim, o capítulo dois desta referida tese, faz um estudo alargado relativamente à disponibilidade da biomassa em Portugal Continental, proveniente das florestas ou de zonas agrícolas.

Como a biomassa se apresenta com aplicações diversificadas, nomeadamente a gasificação, produção de energia eléctrica e de calor, é necessário a existência de um mercado normalizado de combustíveis, em particular na produção de calor em pequenas instalações de elevado rendimento.

De entre os combustíveis sólidos provenientes da biomassa, os aglomerados (normalmente chamados de pellets), apresentam um grande potencial de utilização.

Com o evoluir dos tempos e face à necessidade de regulamentar, estabeleceram-se valores limites para as características dos pellets em relação ao conteúdo de humidade, conteúdo das cinzas, poder calorífico, à densidade por unidade, concentração de substâncias, etc., daí a importância deste capítulo três que tem como título «Normas e limites de incorporação de resíduos florestais e agrícolas na fabricação dos pellets.»

Relativamente ao capítulo quatro, inicia por apresentar uma nota introdutória de um outro derivado da biomassa, as designadas “estilhas”, definindo os diferentes tipos de estilha existentes, culminando com uma comparação entre estilhas e os pellets, mas não muito aprofundado.

O tema de maior foco neste capítulo é relativo à mecânica e os processos envolvidos na produção dos pellets desde a sua recolha até ao seu armazenamento.

“A biomassa, como recurso renovável que é, assume especial relevância na Estratégia Nacional para a Energia, não sendo a solução directa para substituir os combustíveis fósseis, no entanto, aparece como mais um contributo para uma política mais adequada, tanto a nível ambiental como a nível económico, para o sector energético português, permitindo a integração entre as políticas florestais e ambientais com as políticas energéticas” (Loução, 2008).

“A biomassa é neste momento altamente competitiva em termos do seu valor calorífico e muito mais valiosa se contabilizada à luz dos critérios de Quioto e do seu valor social” (Loução, 2008).

Relativamente a estas citações, o capítulo cinco vem ao encontro deste assunto aqui descrito no que diz respeito ao valor calorífico da biomassa incorporada nos pellets.

Quando se fala em políticas ambientais nomeadamente aos poluentes libertados durante a queima dos pellets, nos diferentes sistemas de aquecimento (caldeiras, recuperadores de calor, salamandras), necessário é o estudo das emissões obtidas na combustão em função da biomassa incorporada nos pellets, daí o capítulo cinco se integrar na perfeição neste trabalho de tese.

Por último, no capítulo seis apresentam-se todas as conclusões relativamente ao trabalho realizado.

2. Disponibilidade de Biomassa em Portugal Continental

2.1 Biomassa proveniente das florestas

A biomassa constitui a fracção biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas bem como da actividade industrial e urbana (Directiva 2003/30/CE).

Quanto ao aproveitamento de biomassa florestal para fins energéticos, alguns estudos concluíram que, apesar da abundância dos recursos, existem dificuldades em conseguir a sua concretização, principalmente por motivos sociais, económicas e técnicos. No entanto, é reconhecida a importância deste recurso endógeno para aproveitamento energético, capaz de um claro interesse comercial e de oportunidades de negócio (Loução, 2008).

A fileira da biomassa deve ser encarada como uma área estratégica de interesse nacional que merece um planeamento global integrado, de forma a garantir o seu devido escoamento, incluindo os usos para fins energéticos, numa posição de são equilíbrio entre a oferta e a procura deste tipo de resíduos (ADENE/INETI, 2001).

Portugal Continental tem cerca de 33 000 km² de floresta, o que segundo dados da Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), corresponde a cerca de 38% do território nacional, tendo a área arborizada tendência a aumentar caso sejam aproveitadas todas as áreas de incultos e áridas que, segundo dados da DGF, ocupam uma parcela de cerca de 2 300 000 ha. Assim sendo, o continente português é muito rico em matérias-primas para a produção de biomassa sólida. Com base nestes dados, poder-se-á afirmar que mais de um terço do território português é ocupado por área florestal e que os resíduos produzidos pela limpeza de matos, corte de árvores, etc., podem servir como uma boa fonte de biomassa na produção dos pellets. Os seguintes

mapas ilustram nove tipos de povoamentos florestais pela espécie de árvore dominante (DGRF, 2007).

Pinheiro Bravo.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	976,1	710,3
Norte	245,6	192,6
Centro	569,6	409,7
Lisboa e Vale do Tejo	95,4	66,5
Alentejo	59,5	38,0
Algarve	6,0	3,6



Figura 1 – Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Pinheiro Bravo* em Portugal Continental.

Sobreiro.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	712,8	736,7
Norte	21,3	10,0
Centro	27,9	15,2
Lisboa e Vale do Tejo	139,8	155,9
Alentejo	483,9	527,2
Algarve	39,9	28,4



Figura 2 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Sobreiro* em Portugal Continental.

Eucalipto.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	672,1	646,7
Norte	143,1	121,9
Centro	227,0	258,4
Lisboa e Vale do Tejo	142,9	144,6
Alentejo	130,5	108,1
Algarve	28,6	13,8



Figura 3 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Eucalipto* em Portugal Continental.

Azinhreira.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	461,6	388,4
Norte	20,4	8,5
Centro	31,7	30,0
Lisboa e Vale do Tejo	3,1	0,7
Alentejo	397,8	335,2
Algarve	8,6	14,0



Figura 4 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Azinhreira* em Portugal Continental.

Pinheiro Manso.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	77,7	83,9
Norte	0,3	0,3
Centro	1,0	1,5
Lisboa e Vale do Tejo	14,5	24,7
Alentejo	52,9	51,5
Algarve	9,0	6,0



Figura 5 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Pinheiro Manso* em Portugal Continental.

Carvalhos.

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	130,9	118,0
Norte	61,4	71,3
Centro	58,0	40,8
Lisboa e Vale do Tejo	9,0	1,6
Alentejo	2,4	4,2
Algarve	0,0	0,1



Figura 6 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Carvalhos* em Portugal Continental.

Castanheiros (castanheiro – bravo; castanheiro – manso).

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	40,6	28,2
Norte	33,8	24,5
Centro	6,3	3,2
Lisboa e Vale do Tejo	0,2	0,0
Alentejo	0,1	0,5
Algarve	0,2	0,0



Figura 7 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Castanheiros* em Portugal Continental.

Outras folhosas (salgueiro, choupos, freixos, etc.).

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	102,0	96,9
Norte	56,3	40,7
Centro	21,8	22,5
Lisboa e Vale do Tejo	10,1	9,5
Alentejo	8,5	9,1
Algarve	5,4	15,1



Figura 8 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Outras folhosas* em Portugal Continental.

Outras Resinosas (pinheiro-silvestre, cedros, etc.).

NUT II	Área (10 ³ ha)	
	1995/6	2005/6
Portugal Continental	27,4	14,1
Norte	21,3	8,5
Centro	4,3	3,9
Lisboa e Vale do Tejo	1,5	0,3
Alentejo	0,3	0,3
Algarve	0,0	1,1



Figura 9 - Distribuição e quantificação dos povoamentos florestais de *Outras Resinosas* em Portugal Continental.

Relativamente à distribuição e quantificação das áreas dos povoamentos florestais, agrupando-as por espécie, verifica-se que o pinheiro bravo, eucalipto, o sobreiro e a azinheira são as espécies mais abundantes, ocupando no conjunto quase 85 % da área florestal portuguesa. Neste contexto, os principais núcleos florestais são compostos por povoamentos puros de pinheiro bravo (710 600 ha), revelando-se uma espécie de externa importância económica, sendo o sustentáculo das indústrias de aglomerados, da pasta para papel e das serrações. O pinheiro bravo tem maior presença a norte e centro do país, (figura 10).

Relativamente às espécies folhosas, apesar de o sobreiro (736 700 ha), azinheira (388 400 ha) e o carvalho (118 000 ha) terem grande representatividade no país a mais representativa é o eucalipto (646 700 ha), apresentando-se hoje de extrema importância na paisagem portuguesa, dominando na parte litoral do país (figura 10), ou seja, representa cerca de 7,5 % do território continental e aproximadamente 20% da floresta nacional. Todos os valores mencionados têm como base o ano de 2005/06.

A tabela 1 fornece uma compilação dos dados anteriores do território nacional relativamente às áreas povoadas por estas diferentes espécies de árvores.

Tabela 1 – Quantificação das espécies de árvores florestais em Portugal Continental em 1995/6 e 2005/6 (Fonte: DGRF, 2007).

Áreas Florestais por Espécie (10³ ha) Portugal Continental		
Povoamentos puros, mistos dominantes e jovens	1995/6	2005/6
Pinheiro-bravo	976,1	710,3
Eucalipto	672,1	646,7
Sobreiro	712,8	736,7
Azinhaira	461,6	388,4
Carvalhos	130,9	118,0
Pinheiro-manso	77,7	83,9
Castanheiro	40,6	28,2
Folhosas diversas	102,0	96,9
Resinosas diversas	27,4	14,1
Outras formações lenhosas e diversas	-	18,0
Povoamentos jovens	-	295,5
Total	3201,2	3136,7

Sendo o pinheiro bravo e o eucalipto os principais produtores de lenha e, conseqüentemente, de resíduos florestais (ramos, bicadas e lenhas resultantes da exploração florestal), constata-se, então, que estes sejam as principais fontes de abastecimento bioenergético. Apesar de o eucalipto surgir muito recentemente (por volta do século XX), este crescimento coincide com a instalação e o desenvolvimento das indústrias papeleiras.

Ao interesse económico da exploração destes resíduos, que presentemente não tem tanto valor comercial, adicionalmente apresenta-se um outro factor de extrema importância: diminuir significativamente a carga térmica dos povoamentos florestais o que, conseqüentemente, diminui o risco de incêndio.

A floresta portuguesa apresenta contextos consideravelmente diferentes de norte a sul do país. Segundo a *3ª Revisão do Inventário Florestal Nacional* (DGRF, 2001), as espécies com maior domínio o pinheiro bravo (manso), o eucalipto e o

sobreiro que representam respectivamente 31%, 20% e 21% da área florestal em Portugal Continental.



Figura 10 - Distribuição do eucalipto, pinheiro bravo e outras espécies em Portugal continental (Fonte: DGRF, 2007).

A figura 10 ilustra de forma sucinta a distribuição das espécies dominantes em Portugal Continental, sendo possível observar claramente a distribuição dos povoamentos florestais. Consta-se então, que a grande mancha de pinheiro se situa na região central do País (distritos de Castelo Branco e Leiria), quanto o eucalipto está distribuído numa faixa ao longo do rio Tejo, de Norte a Sul e no litoral (distritos de Coimbra, Aveiro e Viseu), enquanto a região a sul do Tejo, como os casos dos distritos de Beja, Évora, Santarém e Setúbal é predominantemente povoada por outras espécies (azinheiras e sobreiros). Os dados disponíveis sobre a floresta nas regiões autónomas são bastante incompletos e apenas estão disponíveis valores das áreas totais, correspondendo a 9200 ha nos Açores e 1700 ha na Madeira (INE, 2001b), o que correspondem a pequenas partes de ocupação do solo (João Dias, 2002).

No que se refere às outras espécies envolvidas na produção de recursos florestais, tais como as urzes, giestas, tojo, carqueja e esteva, a mais abundante e mais

disseminada é a giesta, muito frequente no interior dos povoamentos do pinheiro bravo ou em manchas densas e contínuas, muitas delas com densidade de 100%. Em tempos, este tipo de “*biomassa*” era muito utilizada como camas de animais contudo, presentemente, não tem qualquer aplicação e apresenta também custos muito elevados de extracção.

Com base no estudo até aqui efectuado, poder-se-á dizer que, a actividade de silvicultura, tal como as outras actividades, produzem muitos resíduos. A limpeza das matas, dos ramos e das árvores em excesso contribuem para uma melhoria desta actividade e das florestas, assim como podem vir a ser uma fonte de energia para a produção de biocombustíveis sólidos a partir desta biomassa. As tabelas que se seguem resumem o elevado poder calorífico que estes resíduos apresentam.

Tabela 2 – Poder calorífico de vários resíduos florestais (Fonte: João Dias, 2002).

Nome vulgar	Poder calorífico (kJ/kg)
Eucalipto (folhas)	22 500
Eucalipto (ramos finos)	20 000
Pinheiro bravo	21 500
Pinheiro bravo (ramos)	20 500

Tabela 3 - Poder calorífico de vários recursos herbáceos ou arbustivos (Fonte: João Dias, 2002).

Nome vulgar	Poder calorífico (kJ/kg)
Urze	23 850
Urze branca	23 850
Tojo	21 050
Carqueja	22 600
Erva-fina	16 500
Feto	18 700

Relativamente aos estudos sobre a disponibilidade de biomassa florestal, estes começaram por volta de 1985 com o trabalho de estudo realizado pelas consultoras *Arthur D. Little* e *Tecinvest*, estudo este que tinha como primeiro objectivo determinar a disponibilidade de biomassa e custos dos resíduos florestais. Estas duas consultoras no seu primeiro objectivo, concluíram que a produção anual de resíduos florestais e resíduos da indústria da madeira foi avaliada em 3,54 milhões de toneladas verdes, vindas na sua maior parte de explorações florestais (pinheiro bravo, eucalipto e sobreiro), (tabela 4).

Tabela 4 - Produção de resíduos florestais em Portugal por origem (Fonte: A.D. Little *et al*, 1985).

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

Com o passar dos anos novos estudos se realizaram e em 2001 foi realizada uma nova avaliação na produção de biomassa em Portugal, levada a cabo pela ADENE e pelo INETI. Segundo este estudo, a floresta portuguesa pode fornecer anualmente cerca de 2,2 milhões de toneladas secas (tabela 5), enquanto o contributo da indústria transformadora da madeira foi estimado em 200 mil toneladas secas (ADENE & INETI, 2001). Esta estimativa efectuada para a floresta não abrange só os ramos e bicadas mas também os matos e a biomassa provenientes de áreas áridas, como se pode constatar na tabela 6.

Tabela 5 - Potencial disponível de biomassa florestal.

Tipo de floresta	Quantidade [milhões de ton/ano]
Matos	0,6
Biomassa proveniente de áreas ardidas	0,4
Ramos e Bicadas	1,0
Industria Transformadora da Madeira	0,2
Total	2,2

Tabela 6 - Produção de biomassa florestal.

Tipo de Resíduo	Quantidade [milhões de ton/ano]
Matos (incultos)	4,0
Matos (sob-coberto)	1,0
Produção de Lenhas	0,5
Ramos e Bicadas	1,0
Total	6,5

Fonte: <http://www.igm.ineti.pt>

Como os estudos relativos à produção de biomassa não “pararam” no tempo, é importante referir o estudo realizado por Campilho, 2006, dada a sua actualidade e uma diferente abordagem de avaliação. O estudo protagonizado por este autor foca-se essencialmente na estimativa da produção de biomassa proveniente das explorações do pinheiro bravo e do eucalipto, complementada com uma estimativa da produção de biomassa dos matos do sub-coberto florestal. A biomassa total foi estimada em 5,1 milhões de toneladas secas, das quais 1,4 milhões provem dos povoamentos de pinheiro bravo e 1,1 milhão do eucalipto.

Relacionando apenas a biomassa florestal residual proveniente dos povoamentos florestais, constata-se que as estimativas variam entre os 1,7 e 2,5

milhões de toneladas secas. Esta variação é significativa pois a estimativa mais elevada inclui apenas os povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo, enquanto a estimativa mais baixa refere-se a todos os resíduos florestais.

2.2 Biomassa proveniente da agricultura (podas da vinha, frutícolas e olivais)

A agricultura é a principal fornecedora de matérias-primas para a grande maioria das indústrias alimentares, uma vez que existe uma grande diversidade e quantidade de fornecimento de produtos e subprodutos (resíduos) que daqui provêm.



Figura 11 – Biomassa triturada resultante das podas de árvores de fruto. (Fonte: www.bioware.com.br/secoes.aspx?id=28).

Uma das grandes referências na nossa economia, é a biomassa proveniente do sector agrícola apesar de este estar a atravessar momentos de grande dificuldade. Este sector representa cerca de 42% da superfície total de Portugal (INE, 2001a) e a população trabalhadora no sector primário é cerca de 11% no activo (INE, 2001a). A agricultura que se pratica actualmente continua a ser uma agricultura sustentada no cultivo dos cereais, responsável pela maior parte da área ocupada pelas culturas

temporárias (43%), sendo o olival e a vinha responsáveis por 77% da área ocupada pelas culturas permanentes (INE, 2001b).

Entende-se como resíduos provenientes da agricultura toda a biomassa obtida durante o processo de culturas temporárias, excepto o produto principal e todos os resíduos provenientes das podas das culturas permanentes, assumindo que não existem diferenças técnicas entre as diferentes regiões do País. Poder-se-á incluir neste estudo as palhas dos cereais, os caules do girassol e do milho, as partes aéreas das principais plantas herbáceas e os ramos das podas das árvores. A estimativa destes resíduos foi elaborada com base nas estatísticas agrícolas do anuário publicado pelo INE de 2008 e em literatura disponível. Para os cereais e outras culturas, a estimativa dos resíduos deixados após a colheita foi realizado recorrendo a relação resíduo/grão (tabela 7).

Tabela 7 - Características dos principais resíduos agrícolas herbáceos.

Espécie	Relação resíduo/grão	Humidade		Fonte
		(%)		
Trigo	1,0	14	Adbeels (1987)	
Cevada	1,0	14	Adbeels (1987)	
Aveia	1,0	14	Adbeels (1987)	
Centeio	1,0	14	Adbeels (1987)	
Arroz	1,0	30	FAO (1989), Kocsis (1987)	
Milho	1,2	40	Adbeels (1987), Kocsis (1987)	
Girassol	2,0	30	Cresta and Giolitti (1987), Kocsis (1987)	
Beterraba	28,2 % da planta	83,5	Amaral (1978)	
Tomate	1,69 ton/ha	71,1	Alves (1995)	

A tabela 8 resume de uma forma sucinta toda a informação relativa à produção de resíduos das principais culturas temporárias em Portugal, as quais foram calculadas na relação grão/resíduo e na média dos valores das produções obtidas nos anos de 1997 a 1999 (INE, 1998 a 2001a). Com base nestes dados, é possível concluir que a

produção anual de resíduos está estimada em cerca de 1324 mil toneladas secas/ano, sendo uma parte significativa proveniente do trigo, do milho e do arroz.

Tabela 8 – Resíduos das culturas temporárias (Fonte: João Dias, 2002).

Resíduos	Resíduos secos (mil ton./ano)	Período	Preço (€/ton.)	Observações
Palha de trigo duro	46	Julho - Agosto	35,21	Preço elevado Alimentação de animais
Palha de trigo mole	189	Julho - Agosto	35,21	Preço elevado Alimentação de animais
Palha de cevada	24	Julho - Agosto	35,21	Preço elevado Alimentação de animais
Palha e aveia	47	Julho - Agosto	35,21	Preço elevado Alimentação de animais
Palha de centeio	37	Julho - Agosto	35,21	Preço elevado Alimentação de animais
Palha de arroz	112	Julho - Agosto	0	Elevada humidade
Caules de milho	791	Setembro – Outubro	0	Oferecido a criadores de gado
Caules de girassol	38	Agosto	0	Oferecido a criadores de gado
Coroa de beterraba	12	Julho - Outubro	0	Oferecido a criadores de gado
Tomateiro	28	Junho - Setembro	0	Oferecido a criadores de gado
Total	1324			

Relativamente a este tipo de resíduos, a palha resultante representa cerca de 455 mil toneladas secas/ano, com uma percentagem de humidade muito reduzida na ordem dos 14%. Este tipo de biomassa é mais utilizado para o fabrico de alimentação animal e de “camas” para gados, pois atinge um valor na ordem dos 35,2 €/tonelada, o que torna menos competitivo qualquer aplicação deste tipo de resíduo para combustão em Portugal. Já no que se refere aos países nórdicos, como é o caso da Dinamarca, a palha é bastante utilizada para queima. Relativamente às plantas herbáceas, estas também constituem um resíduo de biomassa, no entanto, muitas das vezes são deixadas nos terrenos para alimentação dos gados ou até mesmo para

fertilização dos campos. Quanto aos resíduos (caules) provenientes do girassol e do milho estes são deixados no terreno após serem debulhados e queimados para que as cinzas sejam utilizadas como fertilizantes nas culturas seguintes. Quanto ao tomateiro, este apresenta um alto teor de humidade, logo não pode ser utilizado na combustão.

Publicações recentes do INE (2006/2008) revelam como o sector da produção das culturas temporárias está a reagir, relacionando a superfície ocupada por estas culturas com a produção das mesmas (tabela 9).

Tabela 9 - Produção das principais culturas (Fonte: INE, 2009).

Portugal		Superfície			Produção		
Culturas	Anos	2006	2007	2008 (Po)	2006	2007	2008 (Po)
		ha			ton.		
Trio mole		101421	53524	85356	242113	99799	196387
Trigo duro		3263	1394	2957	7497	2496	6944
Milho		102746	104330	109640	534700	604513	699666
Centeio		23476	22218	21323	23802	22702	22213
Triticale		19228	15928	20242	40236	25200	41546
Arroz		25392	26903	26334	148673	156203	150680
Aveia		53674	46064	55233	87108	62039	92422
Cevada		44154	40476	43081	105547	80714	99825
Feijão		7945	7588	6259	4230	3984	3200
Grão-de-bico		1268	1700	1114	714	996	654
Batata		41350	42176	38850	611253	656561	566556
Beterraba		4275	3022	1586	320039	254046	137001
Tomate		13027	14800	14297	983191	1236235	1147600
Girassol		7783	17620	24378	4113	14101	16203
Tabaco		791	443	430	2298	1311	1358

Analisando os resultados, as culturas do trigo mole e do milho são as superfícies que maior área ocupam e não são aquelas que se revelam com maior produtividade, ao contrário do tomate que não é o que ocupa maior área mas definitivamente é aquela que mais produz.

Analogamente o tipo de biomassa resultante das culturas permanentes “limpa” das árvores de fruto, apresenta-se com um elevado potencial pois, contrariamente à biomassa proveniente das culturas temporárias (como caso da palha), este não apresenta mercado alternativo, o que significa que não apresenta valor comercial. A estimativa foi elaborada com base nas estatísticas agrícolas 2008 publicadas pelo INE.

A tabela 10 apresenta as produções médias anuais de biomassa proveniente das podas das principais culturas agrícolas da parte arbórea a nível nacional. Constatase que, anualmente, são produzidas em Portugal Continental aproximadamente 7 milhões de toneladas de biomassa com aptidão para ser utilizada como combustível bioenergético, apesar de que na actualidade não existe qualquer utilização industrial, acabando estes por serem “destruídos” muitas das vezes nas propriedades agrícolas.

Tabela 10 - Produções médias anuais, a nível nacional, da biomassa proveniente das podas das principais culturas agrícolas de porte arbóreo, compiladas com base nos dados publicados nas estatísticas agrícolas 2008 (Fonte: INE, 2009).

Culturas	Produção (ton.)
Ameixoeira	19 568
Amendoeira	11 806
Castanheiro	21 646
Cerejeira	9 199
Figueira	7 145
Kiwi	12 240
Citrinos	27 1496
Macieira	24 3262
Nogueira	4 103
Pereira	140 162
Pessegueiro	5 2856
Frutos secos	37 976
Olival	587 422
Vinho	5 411 516
Total	6 830 397

Nota: as produções de azeite e laranja correspondem às iniciadas no ano agrícola indicado e continuadas no ano seguinte.

Poder-se-á constatar, através da tabela 10, que dos resíduos provenientes das culturas da ameixa, cereja e da noz, apresentam uma produção muito diminuta de biomassa, bem como também uma grande dispersão no país causando enormes dificuldades na recolha e no próprio transporte.

Já os resíduos provenientes das culturas do figo e do kiwi, embora tenham uma produção um pouco diminuta, têm a vantagem de estarem concentradas em regiões específicas do país. No caso do figo encontra-se nas zonas de Mirandela, Torres Novas e Algarve e o kiwi na zona litoral Norte, o que torna viável a sua utilização em alguns dos casos.

Relativamente às restantes culturas, dada a sua grande representatividade e uma quase ausência de mercado para os resíduos daí provenientes, poderá em muitos dos casos ter a aplicação na produção de bioenergia. São exemplo o olival, que tem a vantagem de estar concentrados em zonas como Trás-os-Montes e Alto Douro e o Alentejo, o que beneficia a logística do transporte e extracção.

Análoga situação ocorre com os resíduos provenientes da poda das amendoeiras, concentradas nas zonas do Algarve e Douro, do castanheiro concentrado em Trás-os-Montes e Beira, dos citrinos, localizados predominantemente no sul (Algarve, Alentejo e Ribatejo) e da pereira quase exclusivamente na região Oeste.

Os resíduos que resultam da limpa das amendoeiras podem mesmo ser equacionados, uma vez que se encontram um pouco dispersos por todo o Norte e Centro, pelo menos nas regiões da Beira Alta e Oeste maior concentração. O mesmo acontece com a produção dos resíduos do pinheiro manso, que apesar de distribuído pelo litoral centro e sul, as regiões mais representativas são as de Alcácer do Sal, Grândola e Coruche.

No que diz respeito aos resíduos provenientes da limpa dos pessegueiros, esta dispersa um pouco por todo país podendo tornar-se economicamente viável nas regiões onde a sua cultura assume uma maior concentração, como é o caso das regiões da Vilarica, Cova da Beira, parte oeste, Ribatejo, Alto Alentejo e Sotavento Algarvio.

No que diz respeito ao vinho este representa uma boa e significativa parcela no território nacional, no qual são produzidos anualmente cerca de 5 411 516 ton de resíduos provenientes das podas. Apesar de se apresentar com boas características para fins energéticos, convém salientar que a maioria destes resíduos já tem uma aplicação específica como, por exemplo o aquecimento de fornos e lareiras. Um outro factor que poderá levantar grandes dificuldades para que este resíduo seja viável é a acessibilidade para aprovisionamento, dado que algumas regiões são de difícil acesso como é o caso da região do Douro.

3. Normas e limites de incorporação de resíduos florestais e agrícolas na fabricação dos pellets

3.1 Pellets de biomassa florestal

Com o evoluir dos tempos e com a grande preocupação da humanidade, em especial da comunidade científica na protecção e preservação do ecossistema, muitas questões se têm levantado quanto à auto-sustentabilidade e a exploração de recursos naturais.

Face às grandes necessidades energéticas e com o elevado preço que se está a praticar nas outras energias, o ser humano tem necessidade em explorar as novas formas de energia, desenvolvendo várias técnicas de aproveitamento dos recursos disponíveis, apesar de muitas dessas técnicas ainda suscitarem grandes dúvidas a nível da sua eficiência e dos efeitos que podem vir a causar futuramente.

Juntando a necessidade do desenvolvimento destas técnicas com a actual crise energética que se faz sentir a nível mundial, surgiu em todo o planeta uma grande necessidade de se recorrer ao estudo de novas fontes de energias alternativas, onde se enquadra a biomassa, que engloba toda a matéria orgânica proveniente de resíduos agrícolas ou florestais. A biomassa florestal, devido às suas características, passou a ser vista não como um material inconveniente, mas sim como uma fonte de energia (Loução, 2008).

Uma indústria que labore com base em madeira, tem tendência a produzir grandes quantidades de resíduos. Segundo avaliação de vários autores, os resíduos florestais produzidos por este sector representam cerca de 30% do total de matéria seca produzida por 1 ha de floresta de coníferas, com disponibilidade para uso instantâneo.

Grande parte deste resíduo gera um grande embaraço devido à quantidade, dispersão e dificuldade de manuseamento que estas exibem, como características inerentes da cadeia produtiva florestal, onde estes resíduos estabelecem um grande passivo ambiental. Este tipo de resíduo exige já por si só uma zona de armazenamento muito grande o que, por vezes, não acontece e esta matéria acaba por ser queimada logo no local não havendo, assim, aproveitamento da energia nela contida.

Uma outra desvantagem da biomassa florestal, é que apresenta uma baixa densidade, alto teor de humidade, dimensões heterogéneas, difícil recolha, armazenamento e transporte daí que, quando existem resíduos florestais é preferível densificá-los do que utilizá-los no seu estado natural ou deixá-los no terreno, uma vez que tais medidas só vão dificultar as operações culturais na floresta.

Com as políticas actuais, face às perspectivas de esgotamento das fontes de combustíveis fósseis, das resoluções do Protocolo de Quioto e das pressões ambientais por parte das entidades governamentais e ambientalistas da própria sociedade e das instituições de investigação, torna-se essencial o desenvolvimento deste tipo de energias alternativas, de forma a suprimir o aumento de consumo e das emissões. Neste enquadramento, a indústria de Pellets, pode ser vista como uma “tábua de salvação”, para “estes” problemas ambientais e sociais, pois, contribui para uma diminuição do desemprego, ajuda no desenvolvimento tecnológico e na oportunidade de negócio por meio de comercialização de créditos de carbono.

Pela análise da cadeia produtiva de pellets, pode-se perceber que existem lacunas que interferem no sector ao nível da sua associação ao mercado interno, entre os quais:

- Transporte da matéria-prima (resíduos) até à fábrica, dado que estes apresentam baixa densidade, o que implica baixa concentração energética por unidade de volume, tornando-se um pouco dispendioso. Caso se trate de resíduos lignocelulósicos a distância economicamente viável é de 80 km.

- Heterogeneidade da matéria-prima. Os resíduos lignocelulósicos (bagaços da cana de açúcar, milho, entre outros resíduos agrícolas) são conhecidos pela sua

heterogeneidade (forma, teor de humidade, granulometria, etc.), o que implica um processo produtivo mais elevado, uma vez que é necessário efectuar uma padronização do material e ajustar os equipamentos envolvidos na produção para obter um produto final mais heterogéneo e de melhor qualidade.

- Competitividade com outras fontes de energia. O pellet é um produto que concorre directamente com o carvão vegetal e com a própria lenha. Para conceber a mesma quantidade de energia, o custo da utilização de pellets é 3 vezes maior que o da lenha e 2 vezes maior que do carvão vegetal (Loução, 2008).

- Necessidade de novas políticas e linhas de crédito mais atractivas para que o interesse desperte tanto a nível de investidores como empreendedores.

- Elevadas cargas tributárias aplicadas.

- Maior divulgação do potencial da biomassa com o gerador de energia e consequentemente do potencial de criação de divisas para o país com a própria comercialização de produtos energéticos à custa da biomassa, bem como a participação e o comércio de créditos de carbono (Loução, 2008).

- Maior investimento em capital circulante para suportar a produção por períodos superiores a 6 meses.

3.2 Descrição da Norma

3.2.1 Características dos pellets

Uma das formas de melhorar a quantidade da biomassa na combustão é a densificação pois aumenta a sua homogeneidade tornando mais fácil e económico o seu transporte (Kanury, 1994) e apresenta uma taxa de combustão comparável à do carvão, uma combustão mais uniforme e com redução da emissão de partículas (Werther *et al.*, 2000).

A densificação é responsável pelo aumento da massa específica aparente da biomassa, chegando a ser muitas das vezes 5 a 10 vezes superior à do material de origem.

As normas reguladoras conhecidas como standards para o combustível pellets, estabelecem valores limites para as características dos mesmos em relação à densidade por unidade, ao conteúdo das cinzas, ao conteúdo da humidade, ao poder calorífico, à concentração de substâncias, tais como, por exemplo, azoto, cloro, enxofre, etc.

As normas utilizadas pelos países produtores de pellets não diferem muito umas das outras pois todas elas regulam o uso de aglutinantes com excepção da Suécia, que especifica as concentrações e a qualidade da matéria que pode ser integrada nas diferentes classes de pellets.

A tabela 11 resume as especificações físico-químicas que os pellets de biomassa têm que respeitar, regulamentadas pelas normas: ÖNORM M 7135 (Áustria), DIN 51731 (Alemanha), SN 166000 (Suíça), SS 18 71 20 (Suécia) e normas da Austrian Pellets Association.

Tabela 11 - Características físicas e parâmetros de fabrico dos peletes madeira, (Fonte: Obernberger and Thek, 2002).

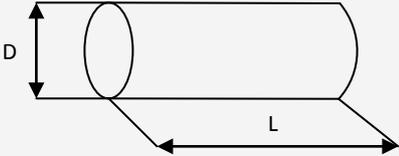
Parâmetro	Unidade	Valor máximo.	
		Intervalo	
Diâmetro	mm	4 a 10 ¹	
Comprimento	mm	<5xD ^{1,4}	
Densidade aparente	kg/dm ³	>600 ³	
Densidade da partícula	kg/dm ³	>1,12 ¹	
Humidade	% (ar)	<10 ^{1,3,4}	
Cinzas	% (ar)	<0,5 ^{1,4}	
PCI	MJ/kg (db)	>18,0 ^{1,4}	
N	% (db)	<0,3 ^{1,2}	
S	mg/kg (db)	<400 ^{1,4}	
Cl	mg/kg (db)	<200 ^{1,4}	
Abrasivo	% (ar)	<2,3 ^{1,4}	
Cd	mg/kg (db)	<0,5 ^{2,4}	
Pb	mg/kg (db)	<10 ^{2,4}	
Zn	mg/kg (db)	<100 ^{2,4}	
Cr	mg/kg (db)	<8 ^{2,4}	
C	%	49,8 a 49,12	
H	%	6,12 a 6,03	
Ni	mg/kg	0,28 a 0,30	
Fe	mg/kg	9,28 a 29,79	
Na	mg/kg	61,52 a 7,78	
Mg	mg/kg	64,42 a 85,43	
Ca	mg/kg	0,57 a 0,64	
K	mg/kg	0,31 a 0,46	

Nota: **ar** - *as received* (base húmida), **db** – *dry base* (base seca)

¹ de acordo com a norma ÖNORM M 7135; ² de acordo com a norma DIN 51731 e SN 166000 (não é válida para casca, apenas para comparação); ³ de acordo com a norma SS 18 71 20; ⁴ de acordo com as normas da *Austrian Pellets Association*

O Comité Europeu de Normalização (CEN) e os institutos reguladores de cada país produtor de combustíveis bioenergéticos cooperaram na elaboração de uma norma comum a toda a Comunidade Europeia. A norma CEN/TS 14961:2005:E, ilustrada na tabela 12, é a norma mais recente, que caracteriza esta cooperação de toda a Comunidade Europeia na concepção dos pellets.

Tabela 12 - Especificação das características dos pellets, adaptado segundo a norma CEN/TS 14961:2005:E.

		Tamanho típico da partícula	Método comum de preparação
Pellets		$\phi < 25\text{mm}$	Compactação mecânica
De acordo com a origem dos resíduos		Florestas Agricultura	
Forma de comércio		Pellets	
Dimensões (mm)			
Diâmetro (D) e comprimento (L) ¹			
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		$\leq 12\text{mm} \pm 1,0\text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$	
D25		$\leq 25\text{mm} \pm 1,0\text{ mm}$ e $L \leq 4 \times \text{Diâmetro}$	
Humidade (w-% conforme recebida)			
Normas	M10	$\leq 10\%$	
	M15	$\leq 15\%$	
	M20	$\leq 20\%$	

Ash (w-% seca de base)	
A0.7	≤ 0,7 %
A1.5	≤ 1,5 %
A3.0	≤ 3,0 %
A6.0	≤ 6,0 %
A6.0 +	> 6,0 % (valor real a ser declarado)
Enxofre (w-% seca de base)	
S0.05	≤ 0,05 %
S0.08	≤ 0,08 %
S0.10	≤ 0,10 %
S020 +	≤ 0,20% (valor real a ser declarado)
Durabilidade mecânica ¹ (w-% de pellets depois de testadas)	
DU97.5	≥ 97,5 %
DU95.0	≥ 95,0 %
DU90.0	≥ 90,0 %
Montante de multas (w-%, <3,15 mm) Após a produção na fábrica	
F1.0	≤ 1,0 %
F2.0	≤ 2,0 %
F2.0+	> 2,0 %(valor real a ser declarado)
Aditivos (w-% massa comprimida)	
Ajuda no tipo de conteúdo e compressão, slagging inibir um qualquer outro tipo de aditivos a ser declarado.	
Nitrogénio, N (w-% seca de base)	
N0.3	≤ 0,3 %
N0.5	≤ 0,5 %
N1.0	≤ 1,0 %
N3.0	≤ 3,0 %
N3.0 +	> 3,0 % (valor real a ser declarado)

Informação	Valor da rede calorífico, $q_{p,net,ar}$ (MJ/kg conforme recebido) densidade de energia, E_{ar} (kWh/m ³ solto)	Informação do retalhista recomendada
	Densidade de carga conforme recebida (kg/m ³)	Declaração recomendada pelo comércio pelo unidade de volume.
	Cloro, Cl (Peso seco de base, w-%)	Recomendação declarada conforme as categorias, Cl 0.03, Cl 0.07, Cl 0.10 e Cl 0.10+ (se Cl > 0.10% se o valor rela for declarado).
¹ Máximo 20 w-% de pellets que podem ter o comprimento de 7,5 x diâmetro		

Assim, as normas CEN ou outras estabelecem procedimentos para diversos parâmetros entre os quais:

Dimensionamento

A medida de dimensão do pellete é definida pelo diâmetro, pelo comprimento e pelo peso, relatado na norma CEN/TS 15234: 2006 (cfr. il documento pré-normativo “Fuel Quality Assurance”).

Massa volúmica aparente

A massa volúmica aparente é a relação entre uma determinada massa de combustível sólido e o volume do recipiente cheio que a contem, segundo condições precisas. Para a determinação da densidade aparente utiliza-se a norma CEN/TS 15103: 2005 onde contém uma das seguintes relações:

$$D_{ar}(M_{ar}) = \frac{(m_2 - m_1)}{V}$$

$$D_{dm}(M_{ar}) = D_{ar} \times \frac{(100 - M_{ar})}{100}$$

Onde:

D_{ar} - densidade aparente de material húmido;

D_{dm} - densidade aparente de material seco;

M_{ar} - conteúdo de humidade da massa recebida expressa em percentagem em peso (base seca);

m_1 - peso do contentor vazio em kg;

m_2 - peso do contentor cheio em kg;

V - volume do contentor cilíndrico utilizado para efectuar a medida em m^3 .

Esta propriedade determina-se utilizando a primeira relação, caso o material da análise se encontre húmido e recorre-se a segunda expressão, se o material estiver seco.

Conteúdo de humidade

O processo que permite determinar o conteúdo de humidade do biocombustível é relatado na norma CEN/TS 14774: 2004. O método consiste em levar o pellet a um tratamento térmico com uma temperatura de 105°C, o que vai permitir determinar a perda do peso da amostra.

Conteúdo das cinzas

A norma de referência é a CEN/TS 14775: 2004 e a determinação do conteúdo de cinza numa amostra de biocombustível baseia-se na massa residual, ou seja, obtida após a combustão da amostra e calcula-se recorrendo à seguinte expressão:

$$A_{db} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

Onde:

m_1 – massa, em gramas, do recipiente utilizado vazio;

m_2 – massa, em gramas, do recipiente utilizado com amostra;

m_3 – massa, em gramas, do recipiente utilizado com as cinzas;

M_{ad} – percentagem relativa ao conteúdo de humidade da amostra (em base húmida).

Dureza mecânica

A norma que descreve o procedimento para medição da durabilidade mecânica dos biocombustíveis é a CEN/TS “Solid Biofuels – Method for determination of mechanical durability of pellets and briquettes”. O instrumento que permite medir a dureza mecânica é o lignotester. Esta medição deve ser feita numa câmara onde a pressão tem que ser mantida a 70 mbar. A dureza é calculada pela seguinte relação:

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \times 100$$

Onde:

DU – dureza mecânica em percentagem (%);

m_E – massa da amostra de pellets, dependendo do tratamento e a unidade expressa é a g;

m_A – massa da amostra de pellets após o tratamento e a unidade expressa é a g.

Quantidade de pó

A norma de referência para determinar a quantidade de pó nos pellets é “Solid Biofuels – Methods for the determination of particle size distribution – Part 2: Oscillating screen method using sieve apertures of 3,15mm and below”. Para realizar a medição é necessário utilizar crivos com diferentes diâmetros, de acordo com a norma de referência (*ISO 3310-1 Test sieves – Technical requirements and testing – Part 1. Test sieves of metal wire cloth e ISO 3310-2 Test sieves – Technical requirements and testing*).

4. Mecânica da produção de pellets

Sendo os pellets um combustível ecológico, uniforme e cilíndrico, como se pode ver na figura 12, são produzidos a partir da compressão da biomassa florestal e agrícola estilhada (triturada), ou seja, a estilha pode ser usada directamente ou de outra forma como combustível e servir directamente como matéria-prima para a concepção de pellets.

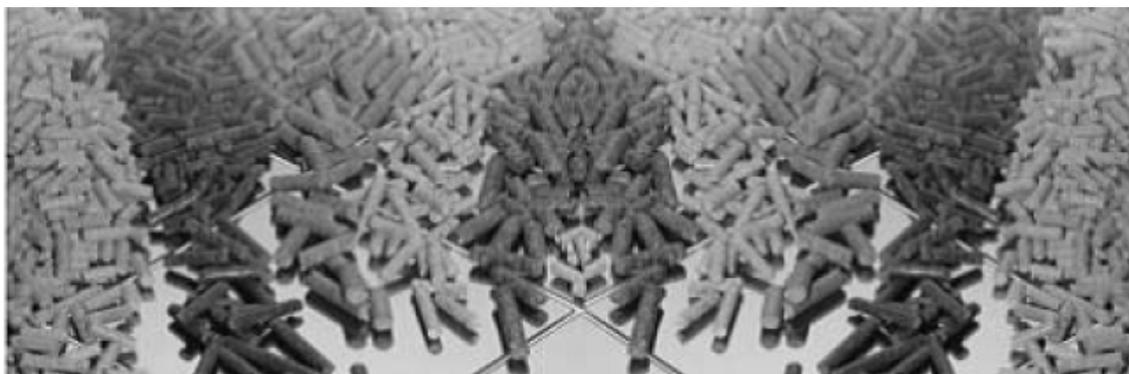


Figura 12 – Pellets (Fonte: Loução, 2008).

A estilha é constituída por pequenos fragmentos de madeira, variando o comprimento entre os 5 e os 50 mm, alcançados por estilhamento na direcção da fibra, como se pode ver na figura 13, dependendo também esta do tipo de matéria-prima e da tecnologia envolvida na sua produção, tal como nos pellets.



Figura 13 – Estilha (Fonte: Loução, 2008).

A nível Europeu é comum encontra-se três tipos diferentes de estilha: a estilha de resíduos da floresta, a produzida nas serrações e a proveniente de cortes de árvores.

A estilha de resíduos da floresta, contém ramos, árvores inteiras ou copas de árvores, apresenta um valor comercial muito reduzido. Apresenta uma elevada percentagem de humidade na ordem dos 50%, variando de forma desde as partículas em pó até à estilha, contendo este tipo de resíduo ramos e folhas. Este combustível é apropriado para o uso de produção de energia eléctrica (ex: central de Mortágua) e nas grandes centrais de produção de calor.

A estilha produzida nas serrações, apresenta uma percentagem de humidade na ordem dos 40 a 50% e é usado principalmente indústria da pasta do papel ou no fabrico de aglomerados. Esta estilha apresenta melhores propriedades de combustão que a interior mas, ainda assim, um pouco húmida e terá que ter uma secagem antes de triturada, para assim poder ser usada nas caldeiras de pequena dimensão.

A estilha proveniente de cortes de árvores, não inclui ramos nem folhas e apresenta uma percentagem de humidade na casa dos 30%, devido ao tempo de secagem pois, este, tipo de resíduo, é deixado a secar cerca de 6 meses e deve ser ainda um material uniforme tanto na qualidade como na quantidade.

A tabela 13 apresenta resumidamente algumas propriedades dos pellets e da estilha, permitindo uma comparação entre estes dois tipos de material.

Tabela 13 – Comparação entre pellets e estilha (Fonte: Loução, 2008).

Parâmetros	Pellets de madeira	Estilha de madeira seca
Poder calorífico	17 GJ/Ton	13,4 GJ/Ton
Por kg	4,7 kWh/kg	3,7 kWh/kg
Por m³	3077 kWh/m ³	744 kWh/m ³
% de humidade	8 %	25 %
Densidade	650 kg/m ³	200 kg/m ³
% de cinzas	0,5 %	1 %

Com base na análise dos dados da tabela 13, pode-se verificar que 1 m³ de pellets contém um poder calorífico 4 vezes superior ao da 1 m³ de estilha de madeira seca. As cinzas produzidas pela combustão dos pellets são cerca de metade do valor produzido pela combustão da estilha de madeira seca, o que torna os pellets mais vantajosos quando utilizados como combustível. Por fim, os pellets ocupam cerca de 3 vezes menos espaço do que a estilha, o que lhe proporciona um melhor transporte e armazenamento.

4.1 Mecanismo e processo de peletização

Na produção de pellets o processo envolvido é o da densificação de biomassa que consiste na aplicação de pressão a uma determinada massa de partículas, com ou sem adição de ligantes ou tratamento térmico.

O processo tradicional de fabrico de pellets tem por base a utilização de resíduos da indústria de processamento de madeira. Quanto aos processos comerciais de densificação, estes permitem obter pellets, onde se emprega uma matriz de aço perfurada com um denso arranjo de orifícios de 3 a 15 mm de diâmetro, como podemos constatar na norma CEN/TS 15149-3, a matriz roda e a pressão interna dos cilindros vai obrigar à passagem da biomassa por tais orifícios, a pressão exercida é

cerca de $7,0 \text{ kg/mm}^3$ (Loução, 2008), sendo o pellet cortado e ajustado mediante as medidas normalizadas e desejadas.

Recorrendo ao diagrama elaborado por Loução na sua tese de mestrado, poder-se-á ter uma visão geral do fabrico dos pellets e apoiada pela norma CEN/TS 15234: 2006.

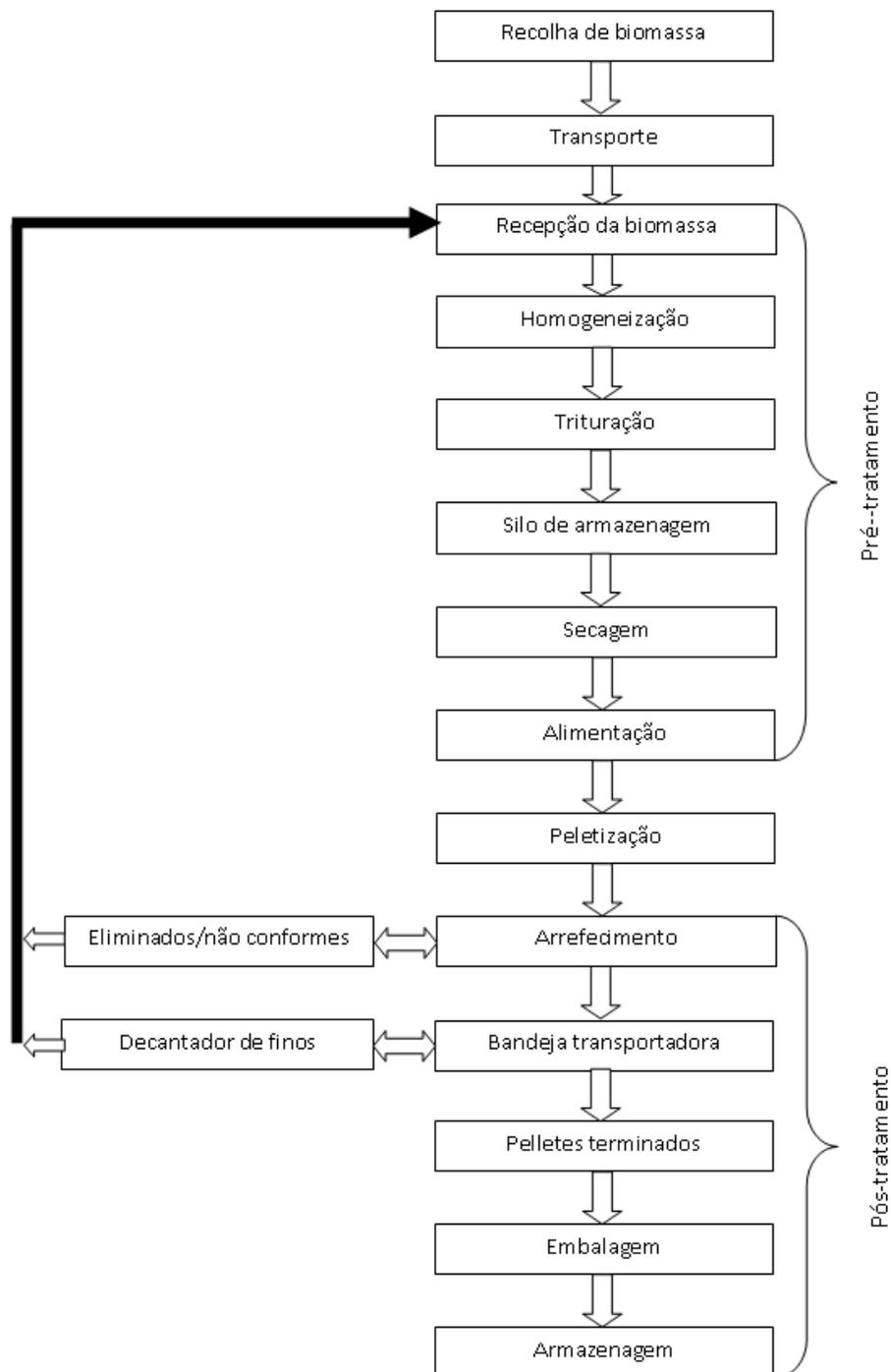


Figura 14 - Diagrama principal da produção de pellets de madeira (Fonte: adaptado, Loução, 2008).

4.1.1 Transporte

A estilha produzida pode ser carregada de imediato para camiões para posterior transporte. A operação de transporte por caminhos florestais do local de abate até à zona do carregadouro é chamada de transporte primário, também designada por extracção ou rechega. Esta operação pode ser realizada por tractores agrícolas ou florestais (figura 15), por um forwarder (figura 16), ou até mesmo por camiões de 70 a 90 m³ com auto descarga (piso móvel ou sistema basculante).



Figura 15 - Tractor agrícola (Fonte: http://images04.olx.pt/ui/2/13/12/17161112_1.jpg).



Figura 16 – forwarder (Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Timberjack_Forwarder.jpg).

Os *forwarders* são as máquinas que apresentam maior produtividade e eficiência (CBE, 2004; VTT, 2001), apesar de existirem outras opções que possuem maior flexibilidade para realizar outro tipo de trabalhos. Existem ainda situações menos usuais, tais como a utilização de tractores ou *forwarders* equipados com uma grua hidráulica (figura 16) ou de máquinas especializadas (*skidders*), que arrastam um conjunto de árvores inteiras ou troncos até ao carregadouro (figura 17).



Figura 17 - *forwarders* equipados com uma grua hidráulica (Fonte: <http://home.furb.br/erwin/colheita/skidder.jpg>).

Uma outra opção é recorrer a uma máquina de cabo-grua, uma vez que existem locais com um declive bastante acentuado.

O transporte de resíduos em bruto é sempre mais dispendioso, tendo em conta que a quantidade de material lenhoso carregado é menor do que se o produto já estiver processado em estilha (maior volumetria dos resíduos em bruto) (Loução, 2008). Assim sendo, para grandes distâncias de transporte desaconselha-se o transporte dos resíduos em bruto (Carvalho. J.L., 2006).

4.1.2.1 Recepção da biomassa

A biomassa proveniente das florestas, das explorações agrícolas e da indústria transformadora da madeira que é transportada pelos camiões é recepcionada pelas fábricas e armazenada em silos ou em armazéns. A matéria-prima recepcionada pode entrar em forma de estilha ou madeira em bruto, dependendo da sua origem. Caso a biomassa seja proveniente da indústria transformadora da madeira, esta entra directamente na fase de homogeneização e, quando vem directamente das explorações florestais ou agrícolas, esta vai ter que entrar na fase de trituração ou estilhamento.

4.1.3 Preparação da fibra

Nesta etapa a matéria-prima deve estar livre de qualquer tipo de contaminante, ou seja, sem elementos não desejados, tais como vidro, pedras e sujidades. Caso a remoção destes contaminantes não se faça de forma adequada, esta negligência pode causar danos irreparáveis nas máquinas principalmente nos rolos de pressão. Se o produto apresentar contaminantes, as cinzas resultantes pela combustão irão ser em maior número.

4.1.4 Trituração (Estilhamento)

A trituração ou estilhamento é o processo que antevê o processamento da biomassa em bruto, ou seja, tem a função de transformar a matéria-prima num produto final regulamentado ou padronizado. Este processo de estilhamento pode ser realizado no local de exploração (floresta ou campos de cultivo) ou nos armazéns das próprias fábricas de peletização.

Existem no mercado duas tipologias de processamento: o estilhaçamento por facas e por martelos.

O *estilhaçamento por facas* é o mais apropriado para matérias homogêneas como árvores inteiras e funciona da seguinte forma: com a ajuda de um tapete rolante e do movimento rotacional dos rolos, transportam a matéria-prima homogênea para o tambor do estilhador, onde as facas produzem a trituração do material lenhoso, condicionada pela potência do motor e pelo processamento do jogo de facas. A figura 18, mostra a representação esquemática de um estilhador de facas e a figura 19 o resultado de uma trituração com uma máquina de facas, enquanto as figuras 20 e 21 ilustram dois modelos de estilhador.

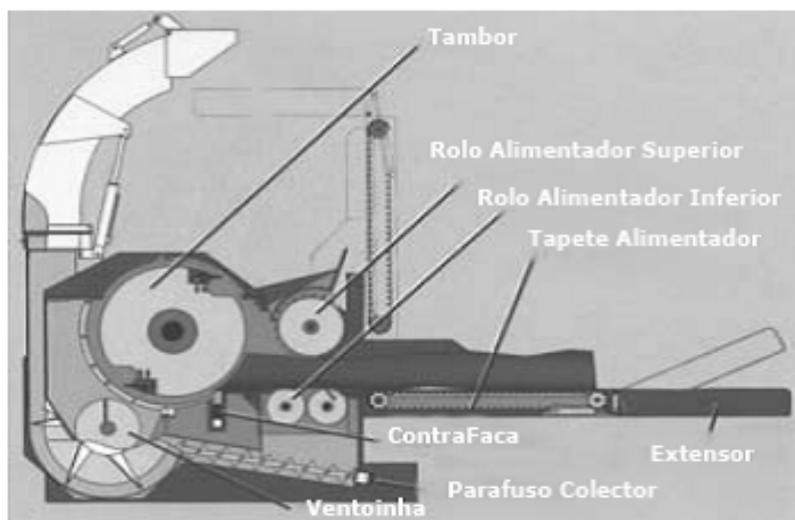


Figura 18 - Aspectos do Funcionamento de um Estilhador de Facas (Pezzolato) e do produto final produzido (Fonte: Pezzolato, 2006).



Figura 19 - Estilha resultante de uma trituração com uma máquina de facas (Fonte: www.barkdelivered.com).



Modelo	CIP 1500
Produção	6-9 m ³ /h
Potência necessária do tractor (versão PTO)	30 HP
Potência Motor (Versão motorizada)	24 HP, 27HP ou 37HP
Alimentação	Hidráulica
Diâmetro Máx. a triturar	150 mm
Facas nº	2-3
Descarga	Tubo 2300mm, 360°

Figura 20 – Estilhador de facas CIP 1500 (Fonte: www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail).



Modelo	BC1400TX
Peso	2980 kg
Deslocação	Rastos
Potência	122 hp (92 kW)
Capacidade Máxima de Corte	Ø 38 cm
Boca de Alimentação	38 x 51 cm
Sistema de Corte	Tambor Ø 57 cm Larg. 56 cm 2 lâminas 171 cm
Comprimento da Mesa de Alimentação	
Sistema de alimentação automática *	SmartFeed®
Sistemas de Segurança	Activo e Passivo

* O sistema SmartFeed é exclusivo e patenteados pela empresa Vermeer

Figura 21 – Estilhador de facas, equipado com um guincho, o BC1400TX permite mover e levantar toros até 900 kg para cima da mesa de alimentação, reduzindo a necessidade de levantamento manual do operador (Fonte: www.vermeer.pt/pdf/processamento_arboricola/Vermeer_Processamento_Arboricola.pdf).

O *estilhamento por martelos* é o processo mais apropriado para matérias-primas mais heterogêneas, apresentando-se mais eficiente para os resíduos florestais. O modo de funcionamento deste tipo de máquina consiste num tudo similar ao de estilhamento por facas e, em vez de existir um órgão de corte (faca), existe um órgão de destroçamento mecânico (martelo). Na figura 22, mostra a representação esquemática de um estilhador de martelos enquanto que as figuras 24 e 25 ilustram dois modelos de estilhadores de martelo.

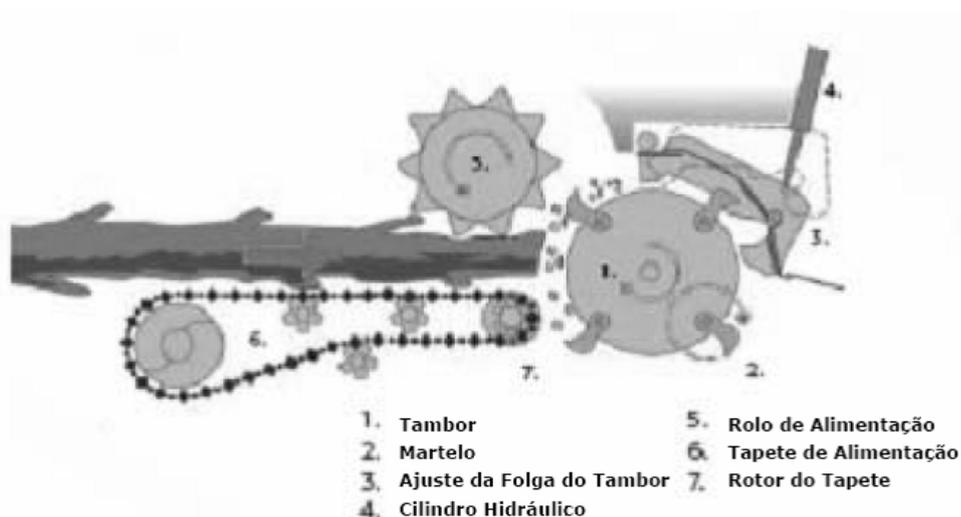


Figura 22 - Aspectos do funcionamento de um estilhador de martelos (Fonte: Willibald, 2007).



Figura 23 - Estilha resultante de uma trituração com martelos (Fonte: www.bmandm.com).



Modelo	BS 750
Comprimento do tapete de alimentação	2200 mm
Produção	20-25 m ³ /h
Potência necessária do tractor (versão PTO)	90 HP
Potência Motor (Versão motorizada)	115HP
Alimentação	Hidráulica
Diâmetro Max. a triturar	130-150 mm
Martelos nº	64
Descarga	Tubo 2400mm, 360º
Outras características	- Tapete e alimentação - Tapete de descarga - Reboque de estaleiro - No-strss

Figura 24 - Estilhador de martelos BS 750 PTO (Fonte: www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail).

4.1.5 Homogeneização

Nem toda a matéria-prima que é recolhida no terreno vem em perfeitas condições, ou seja, por vezes é necessário recorrer a uma nova moagem. Esta moagem consiste, particularmente, na diminuição do tamanho e na homogeneização na uniformidade da matéria-prima que, seguidamente, passará a ser um pellete. A moagem que é realizada nesta etapa é efectuada por um martelo triturador que funciona por meio de um motor eléctrico. Durante o seu funcionamento, este martelo vai aquecendo gradualmente, contribuindo este calor para uma libertação da humidade na matéria-prima. O consumo de energia nesta etapa é de 1kWh/ton de matéria-prima triturada (Malisius, 2000). As partículas resultantes do processo de homogeneização devem apresentar uma granulometria aproximada de 1mm para poder ser processada (Loução, 2008).

A homogeneização e estabilização da biomassa tem como intuito obter um material com características constantes dado que, o mercado é exigente e as normas assim o obrigam. Como tal, o material tem que se apresentar com uma superfície extremamente lisa e muito resistente à abrasão, brilhante, sem fendas para assim evitar a formação de pó de forma a proporcionar um bom embalamento e fácil transporte, pelo que deve ter uma boa resistência mecânica e ser de fácil conservação. Após esta fase, a matéria-prima é transportada para os silos de armazenamento através de tapetes rolantes, onde caso não seja necessário, vai ser armazenada para se proceder à sua secagem e, caso não seja necessário este processo de secagem, a matéria-prima vai directamente para a paletizadora através de um sistema de alimentação, que deverá laborar de um modo lento e firme para assim contrariar o forte atrito do lenho.

4.1.6 Secagem

Para obter um bom peletizado, a matéria-prima deve apresentar um conteúdo de humidade entre 8 e 12% (Alakangas *et al*, 2002). Dado que a matéria-prima adquirida, apresenta uma percentagem de humidade normalmente superior a 50%, torna-se assim necessário recorrer a uma diminuição da humidade e, para isso, é necessária uma secagem antes de passar à sua utilização. Este tipo de secagem utiliza um secador de *tambor rotatório* que, dependendo das características técnicas, seca a matéria-prima através de um fluxo contínuo de ar quente. Este tipo de secador pode utilizar como combustível: lenha, gás natural, petróleo ou electricidade, com um consumo médio de energia de 1MWh/ton de material seco (Malisius, 2000).

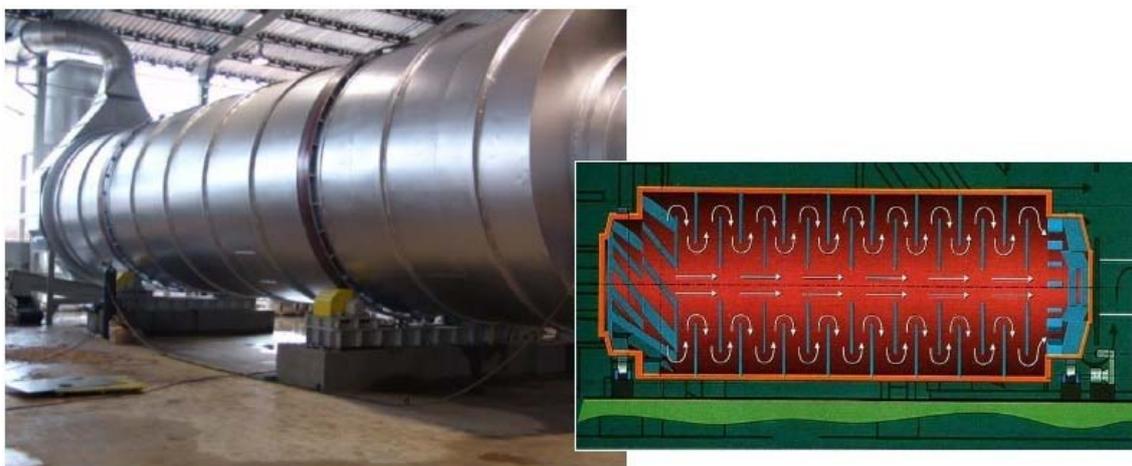


Figura 25 – Secador do tipo tambor Rotativo (Fonte: Hansa Granul Ltda,2006).



a)

b)

Figura 26 – a) Secador Rotativo, 1,80 m de diâmetro, por 8 m de comprimento, com base, roletes, redutora, motor 25 CV b) interior do secador rotativo (Fonte: http://ce.quebarato.com.br/classificados/secador-rotativo__2401065.html).

Os gases, no momento da entrada no secador, apresentam uma temperatura de 550C, com uma velocidade de 2 m/s, sendo produzida por um ventilador centrífugo com dois ciclones decantadores de partículas.

O abastecimento do secador é feito através de um senfim em parafuso.

Quanto à matéria-prima seca, em média, cerca de 20,5% é consumida como combustível pelo próprio secador e a restante matéria-prima (79,5%) seca é utilizada.

Após a matéria-prima entrar no secador, esta é elevada por meio de alhetas, situadas nas paredes interiores do tambor, formando diferentes cortinas ao longo do cilindro, o que provoca uma melhoria significativa destas com o ar quente. A matéria-prima, uma vez seca, entra numa câmara de decantação situado à saída do secador, onde segue até a um senfim de descarga. Numa fase posterior, através de uma cinta transportadora, a matéria-prima segue um de dois percursos obrigatórios, para um triturador ou para silos de armazenamento.

4.1.7 Peletizador

Após o redimensionamento da matéria-prima e obtenção de um conteúdo de humidade aceitável (8-12%), por meio de um sistema de alimentação automático, esta passa para a etapa seguinte do processo que corresponde à peletização (Loução, 2008).

Antes de chegar concretamente à peletizadora, a matéria-prima “sofre” uma verificação ou seja, toda a matéria-prima é forçosamente passada por um filtro, para que aí se faça uma reclassificação das partículas de acordo com o tamanho. As partículas que fiquem retidas neste filtro, são devidamente “conduzidas” a nova trituração, até estarem nas conformidades exigidas e as que passam nos filtros, ou seja, as que respeitam as medidas, são conduzidas para uma mesa doseadora que regula a entrada do material, garantindo um fluxo contínuo e uniforme de material na máquina peletizadora.

Com a matéria-prima já triturada e dentro da peletizadora, esta é preparada mediante o uso de vapor. Este vapor contribui na humedificação superficial, ou seja, ajuda que o aglutinante natural das fibras da madeira, (a lenhina) actue com maior facilidade sobre as fibras que compõem os pellets, isto é este vapor “serve” de lubrificante no processo de peletização.

A maior parte dos equipamentos de peletização incluem os seguintes componentes:

- Sistema de alimentação;
- Câmara de mistura;
- Matriz perfurada e rolos de pressão;
- Máquina principal;
- Chassi.

4.1.7.1 Sistema de alimentação

Consiste num parafuso sem fim que tem como principal característica o ajuste da velocidade em função das condições de funcionamento da máquina principal, conseguindo um fluxo contínuo no abastecimento de biomassa. Assim, impede que o fumo ou outros tipos de possíveis contaminantes passem à etapa seguinte do processo de produção (Loução, 2008).

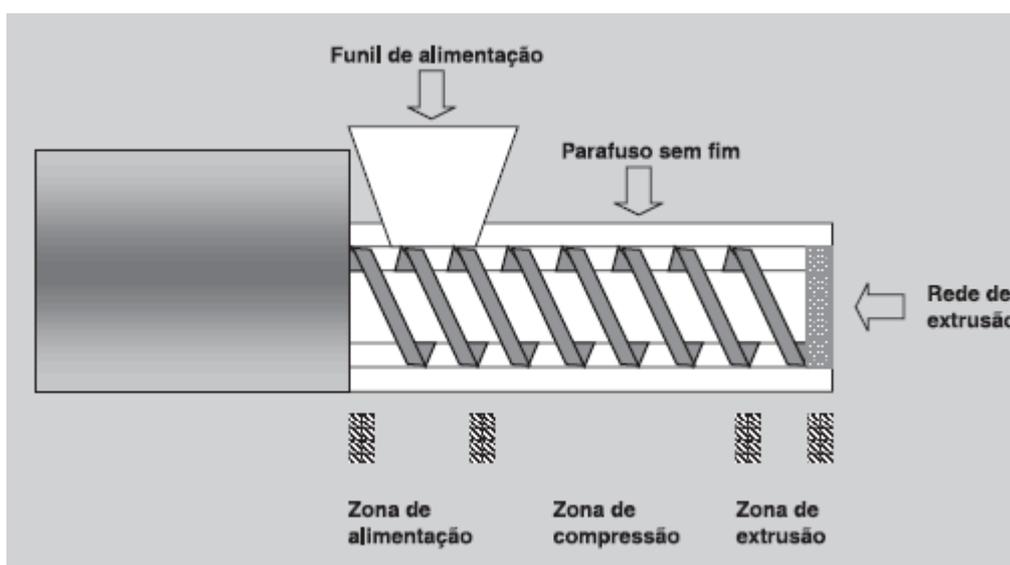


Figura 27 - Vista lateral da representação esquemática do extrusor de parafuso-sem-fim axial (Fonte: adaptado por Hicks, Freese, 1989).

4.1.7.2 Câmara de mistura

A câmara de mistura tem como finalidade incorporar na matéria-prima aditivos, sendo eles, do tipo aglutinante, lubrificante ou protectores causados pela humidade. A exaustão de fumos faz-se através de um sistema de tubos e a aplicação dos aditivos recorre-se a um sistema de spray. Na aplicação de aditivos, a maior parte dos produtores Europeus não é muito unânime dado que, certos aditivos libertam fumo

durante a combustão, factor este que é contra as expectativas dos produtores dos pellets, uma vez que estes querem um combustível completamente “limpo”, ou seja, livre de emissão de contaminantes.

Os aditivos não devem ser utilizados indiscriminadamente no fabrico dos pellets, uma vez que encarecem os custos de produção e estes nem sempre são necessários. Os aditivos adicionados não devem produzir gases tóxicos nem intervir na combustão.

Um dos aditivos usados na produção de pellets de madeira é o amido de milho que é uma cola natural. Estas colas têm como finalidade facilitar a prensagem para melhorar o equilíbrio energético e a renitência abrasiva do pellete. O limite máximo de incorporação das colas é de 2% para minimizar o teor de cinzas uma vez que, a matriz das cinzas, está normalizada para o sistema de combustão.

Na peletização, o aditivo mais comum é o vapor, podendo este ser seco ou ligeiramente quente, para secar o material e deve-se ter atenção para não elevar em demasia a temperatura da matéria-prima. O uso do vapor contribui para a diminuição do tempo dos rolos, contribuindo assim que os pellets obtidos sejam mais fortes e coesos.

4.1.7.3.1 Matriz e rolo de pressão

Após concluir as acções anteriores, a biomassa é submetida a uma pressão mecânica constante, por meio de rolos, que se encontram dispostos dentro de uma matriz.

A pressão exercida depende: da geometria que a matéria-prima apresenta quando chega a esta etapa (geometria do canal, geometria do cone) e das características da máquina peletizadora, tais como, a quantidade de rolos, a velocidade dos rolos, distância entre rolo-fileira, relação de compressão, velocidade e diâmetro.

Assim, a distância existente entre a matriz e o rolo influencia não só a qualidade do pellete mas também a quantidade de energia requerida pela máquina.

A matriz envolvida no fabrico dos pellets possui na superfície uma série de perfurações que servem para a saída do material que é empurrado pelos rolos, como se pode ver na figura 28.

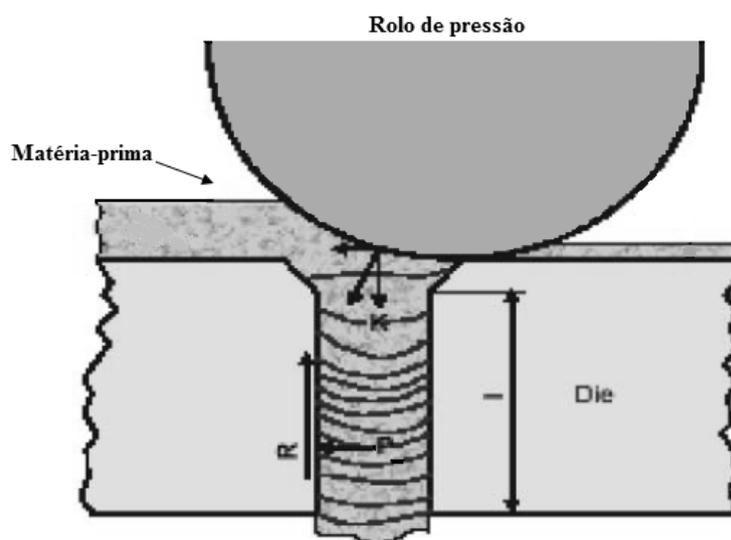


Figura 28 - Esquema de compressão (Fonte: CTI, 2003), onde R- Fricção, μ - coeficiente de fricção, P- pressão da parede (N/m²), u- diâmetro do furo (m), k- compressão ($R = \mu * P_s * u * 1 \leq |K|$).

Os rolos e a matriz perfuradora são fabricados em aço, com a intenção de proporcionar às peças alta resistência durante a fase de processamento o que, neste caso, consiste essencialmente na aplicação de pressão e fricção que ao aquecer faz com que os pellets saiam pelas perfurações da matriz.

Os tamanhos dos furos na matriz definem o tamanho e a forma dos pellets que se pretendem produzir.

Os rolos de pressão e as facas, com as quais se dá o tamanho final aos pellets, são partes amovíveis que devem ser substituídas periodicamente, dado o elevado desgaste. A figura 29 mostra esquematicamente o funcionamento dos extrusores de rolos.

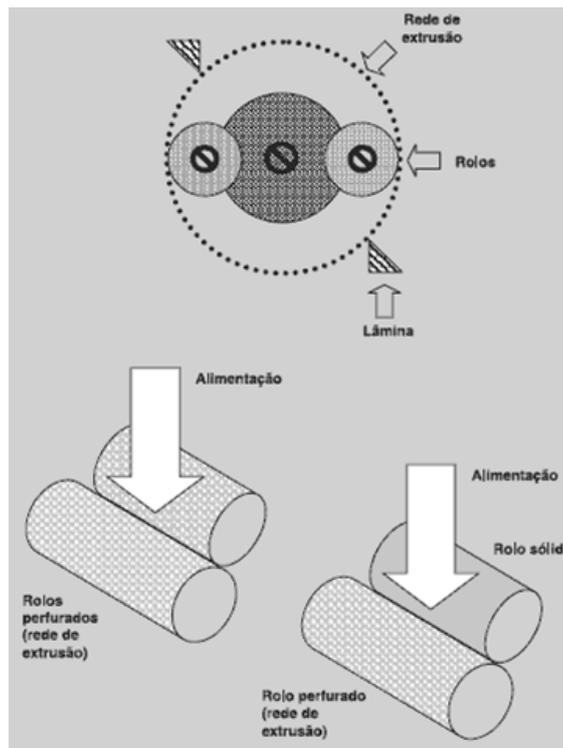


Figura 29 – Esquemas estruturais dos extrusores de rolos (Fonte: adaptado por Hicks, Freese, 1989) (http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322004000400003).

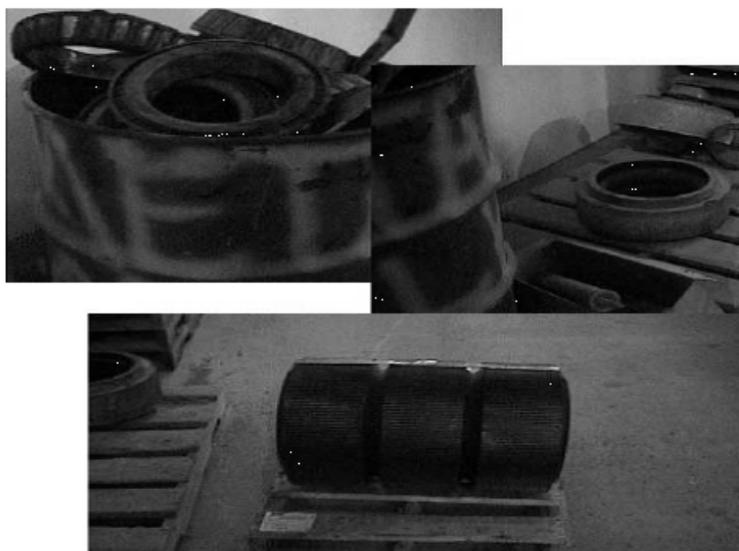


Figura 30 – Rolos de pressão (Fonte: Loução, 2008).

Onde, usualmente, os pellets têm diâmetros variados entre 6 e 12 mm, um comprimento de 30 mm e densidade que varia entre os 1000 e 1300 kgm⁻¹ e, na produção de pellets, as máquinas mais comuns são: a peletização com matriz de disco e a peletização com matriz em anel, onde

O processo de peletização consome um total de energia de, aproximadamente, 60 kWh/ton de material terminado (Malisius, 2000).

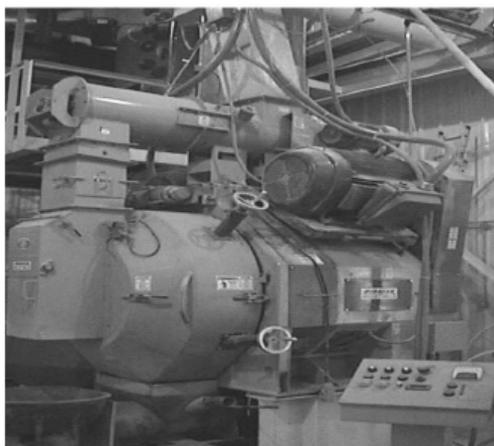


Figura 31 - Maquinaria principal de peletização, alimentada directamente desde o moinho de trituração (Fonte: www.pellet2002.com).



Figura 32 – Linha de produção com 3 peletizadoras (Fonte: <http://www.arsalambiente.pt/docs/Sistema%20de%20Pellets.pdf>)

4.1.7.3.2 Máquina peletizadora com matriz do tipo anel (cilíndrica vertical)

Este sistema trata-se de um mecanismo de compressão onde giram 1 ou 3 rolos de pressão numa matriz sólida.

No sistema munido com um só rolo, o material é transportado por um sem-fim, fluindo este dentro da matriz apenas por acção da gravidade. Num equipamento com mais rolos (2 ou 3 rolos), o sistema de alimentação existente é do tipo centrífugo, que conduz o material até aos rolos através de palhetas ajustáveis. O objectivo é estender o material como uma capa sobre os furos da matriz e dos rolos (Loução, 2008). As figuras 33 e 34 ilustram a constituição de uma matriz do tipo anel ou cilíndrica vertical, enquanto a figura 35 exhibe uma máquina peletizadora de matriz vertical.

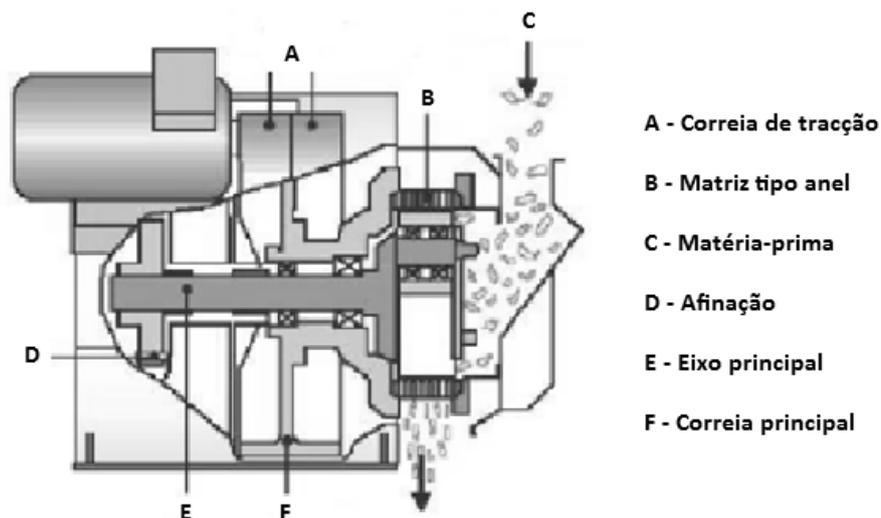


Figura 33 - - Esquema estrutural de uma matriz do tipo anel, vista lateral (Fonte: www.salmatec-gmbh.de).

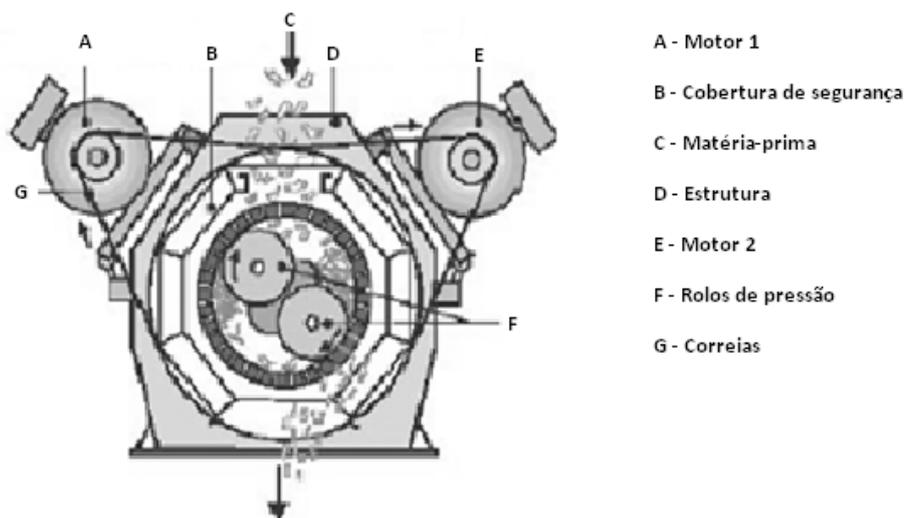


Figura 34 – Esquema estrutural de uma matriz do tipo anel, vista frontal (Fonte: www.salmatec-gmbh.de, 2006).



Figura 35 - Máquina peletizadora de matriz cilíndrica vertical (anel) (Fonte: Loução, 2008).

O esmagamento da matéria-prima é executado na superfície interna, no percurso de acção de dois ou três rolos móveis, montados sobre um suporte concêntrico e, independente da matriz, existe um sistema que força os rolos a percorrerem o diâmetro interno da matriz em contra rotação. A superfície cilíndrica externa dos rolos tem como finalidade aumentar, durante a fase de esmagamento o

atrído criado entre a biomassa e o rolo, controlando desta forma que o material sofra um deslizamento para fora da zona de pressão.

O material compacto é cortado por facas, situadas na superfície exterior da matriz, enquanto a saída do material (pellet) é feita por queda livre numa bandeja de descarga e extraído pela zona frontal do fecho da máquina. Concluído todo o processo de peletização, os pellets produzidos podem ser retirados da zona de acumulação por meio automático ou manual.

4.1.7.3.3 Máquina peletizadora com matriz do tipo disco (plana)

Numa máquina com matriz do tipo plana, a compressão é feita numa matriz plana e redonda munida com rolos de pressão sobre a sua superfície, como ilustra a figura 36.

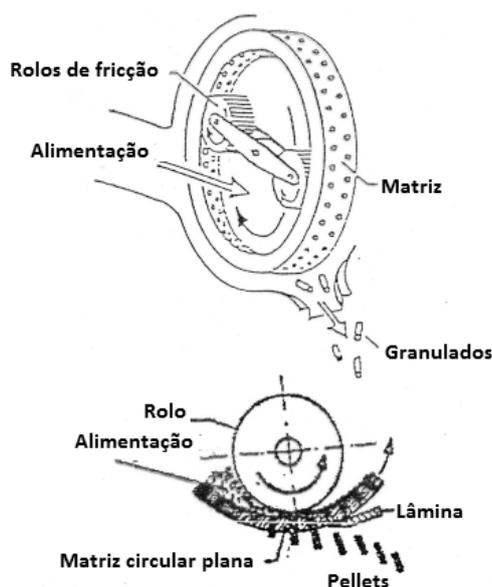


Figura 36 – Esquema de matriz circular (Fonte: Adaptada, <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>).

Os rolos existentes variam entre 1 a 6, consoante o tamanho da máquina (figura 37). Por vezes, o modo de funcionamento dos rolos varia sendo, em alguns casos, a matriz a rodar e os rolos mantêm-se imóveis, embora possa existir máquinas que funcionem de outra forma, ou seja, rodarem os próprios rolos e a matriz mantêm-se imóvel.

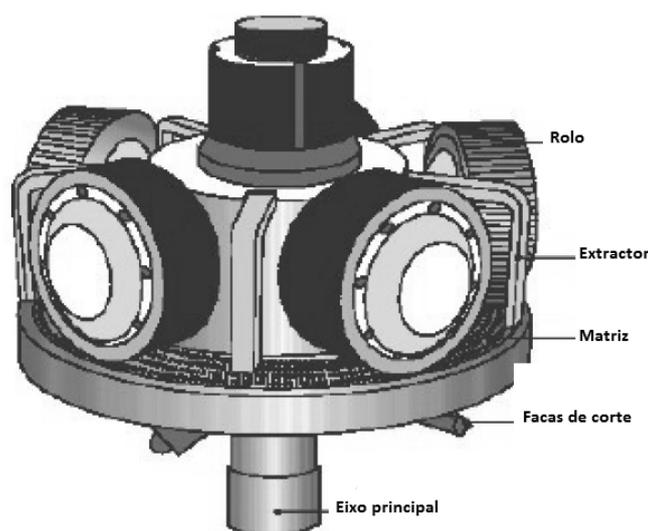


Figura 37 - Esquema estrutural de uma matriz plana (Fonte: www.salmatec-gmbh.de, 2006).

Numa matriz de disco, a alimentação da máquina faz-se simplesmente pela acção da gravidade. Uma outra vantagem deste tipo de equipamento é a fácil manutenção, desde a limpeza até à substituição de alguma peça.

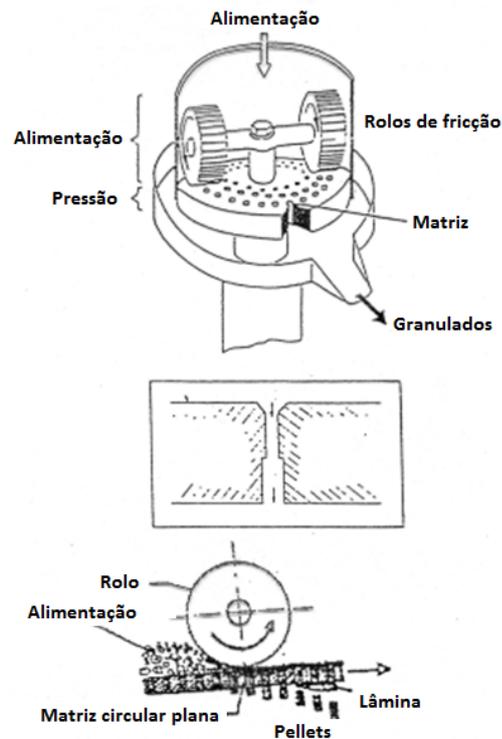


Figura 38 - Esquema de uma matriz plana (Fonte: adaptada, <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>).

Esta peletizadora com matriz plana apresenta uma estrutura um pouco diferente da peletizadora de anel, desde a disposição dos elementos até mesmo à forma constitucional uma vez que esta máquina se encontra numa sequência longitudinal, como ilustra a figura 38.

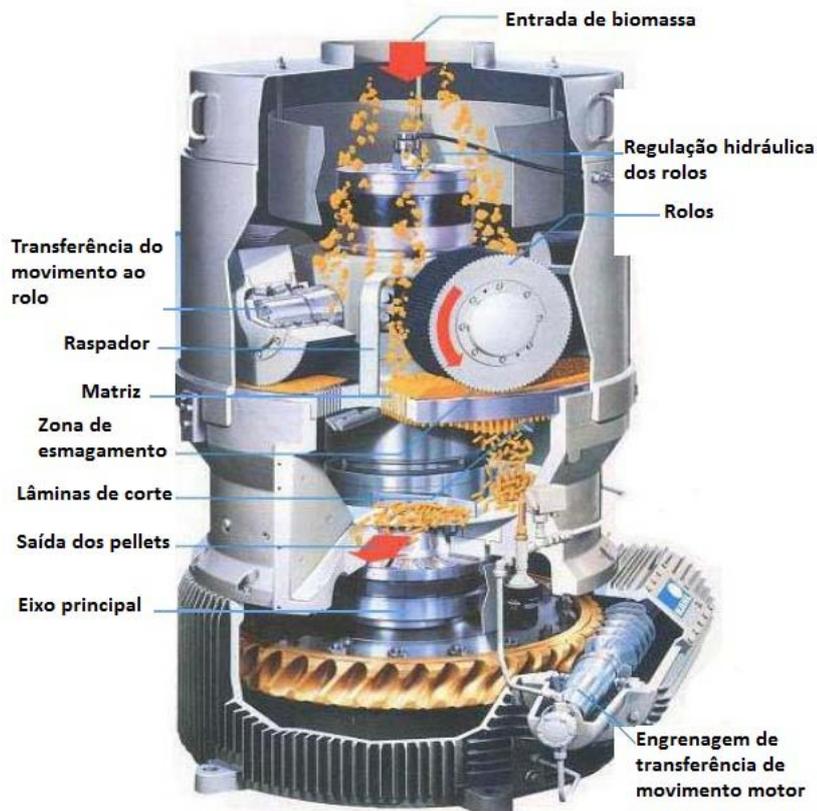


Figura 39 - Esquema estrutural de uma peletizadora com matriz plana KAHL (Fonte: <http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>).

A distância dos rolos à matriz e a pressão exercida por estes sobre os materiais da estrutura são determinados por uma unidade de regulação hidráulica, situada na parte superior do eixo principal.

As facas que executam o corte do material eliminado, encontra-se por baixo da matriz e fixa à árvore rolante central. Após o corte, o material cai sobre um plano situado abaixo da matriz. A superfície útil da matriz é aquela sobre a qual circulam os rolos de pressão, onde é comprimida a biomassa entre duas circunferências de raio diferente (Loução, 2008). O rolo de pressão tem que rodar obrigatoriamente com velocidade periférica constante para não provocar um deslizamento entre rolos, biomassa e matriz.

4.1.8 Arrefecimento

Na fase de densificação, a biomassa contém elevado teor de humidade, que vai ser removido nesta etapa com calor.

O arrefecimento é uma etapa muito importante no processo de fabricação de pellets pois contribui para que a lenhina da madeira alcance o seu maior potencial aglutinante, fundamental para os pellets manterem a sua nova forma (Loução, 2008).

O arrefecedor consiste numa câmara vertical, de onde os pellets caem em fluxo de contracorrentes, permitindo diminuir a sua temperatura. Esta corrente é gerada por ventiladores mecânicos que funcionam accionados à electricidade. O consumo de energia nesta etapa situa-se próximo de 5 kWh/ton (Malisius, 2000).



Figura 40 – Arrefecedor, (Fonte: Loução, 2008)

4.1.9 Separação de finos

Após terminado o fabrico dos pellets, procedesse-se à separação das partículas. Os finos resíduos restantes ou designadas de partículas sobrantes que passaram à fase de peletização, voltam ao processo de forma automática. Segundo Loução, para este efeito recorre-se a um tamiz de 1/8", ou seja, de 3,175mm.

4.2 Armazenagem/Empacotamento

Terminado o processo de peletização chegamos ao fim da linha de produção dos pellets. Pellets estes que necessitam agora de ter um "rumo", pois há que definir qual o seu destino, podendo estes ser armazenados em silos ou ser encaminhados para uma máquina de pesagem e embalagem automática.

Sendo os pellets de fácil arrumo, dever-se-á ter algumas precauções nesta última fase como depositar em local seco de modo a evitar o aparecimento de bolores, isto é, o desenvolvimento de bactérias. Apesar de possuírem uma baixa percentagem de humidade (cerca de 10%), são de fácil manuseamento, podendo ser conservados por períodos muito longos. Uma outra vantagem é a sua área de ocupação, pois em relação à lenha ocupa um espaço inferior a 1/3. Para armazenar uma tonelada de pellets é necessário um depósito com 1,8 m³.

Os pellets fabricados podem ter outro destino que não o armazenamento em silos, podem ser empacotados em sacos de papel com diferentes tamanhos ou distribuídos a granel.

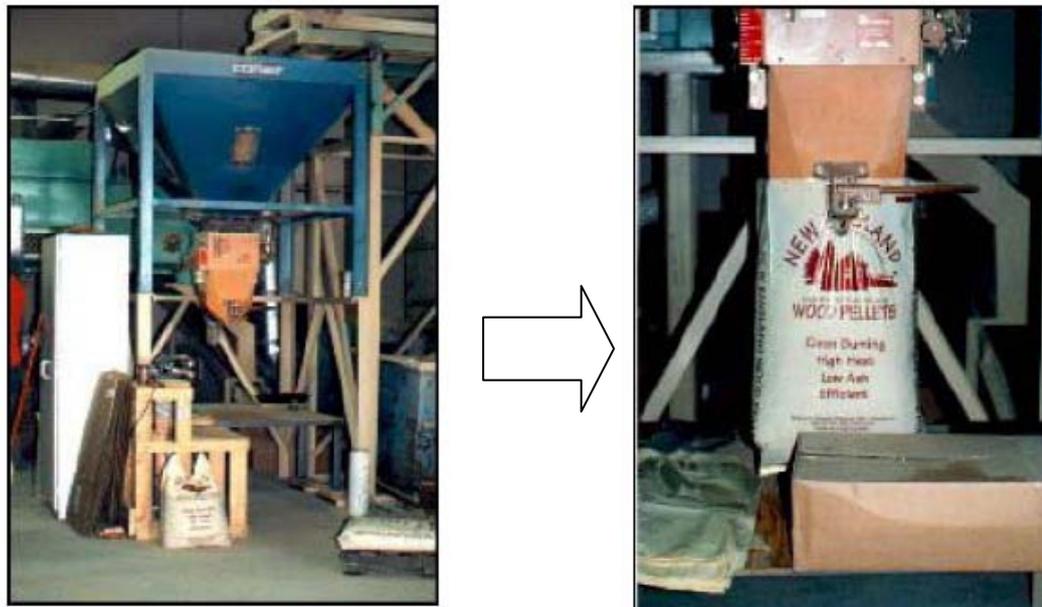


Figura 41 – Empacotador de pellets, em sacos de papel (Fonte: Loução, 2008).

4.3 Distribuição/Transporte

O transporte é um factor muito importante que deve ser tido em conta para manter a economia na indústria de pellets. Um dos aspectos chave é a dificuldade de transportar resíduos lenhosos e estilhas (matérias-primas em geral) por grandes distâncias, principalmente pelos custos que implica. Por esta razão, as fábricas de peletização devem estar localizadas o mais perto possível das fontes de matéria-prima (Malisius, 2000).

O transporte dos peletes não é perigoso, ao contrário do que acontece com outros combustíveis. Este combustível ocupa pouco espaço, não suja, não apresenta perigo de explosão ou contaminação, podendo ser definido como combustível eco-compatível (Loução, 2008).

No entanto, o transporte dos pellets não os deve expôr a pressões ou tensões mecânicas excessivas, o que resultaria na alteração da sua estrutura, sendo ainda de

precaver que, durante o transporte, se mantenham livres de humidade, para evitar o aparecimento de microrganismos que possam prejudicar a qualidade dos pellets ou que percam a forma comercial (Alakangas, 2002).

Os pellets podem ser transportados a granel em auto-cisternas ou em camiões convencionais cobertos. Os pellets assim transportados são distribuídos aos consumidores e colocados em depósitos por meio de um sistema de ar pressurizado, de uma maneira muito similar à distribuição de combustíveis derivados do petróleo (Alakangas, 2002).

Os produtores podem distribuir os pellets directamente aos consumidores finais ou através de intermediários. O tamanho dos sacos situa-se entre pequenos com 10 a 20 kg a grandes com 500 a 1000 kg. O transporte dos pellets em sacos grandes é mais económico mas desadequado para os pequenos consumidores, uma vez que são utilizados principalmente para instituições que utilizem sistemas de aquecimento de grande de escala (Alakangas, 2002).

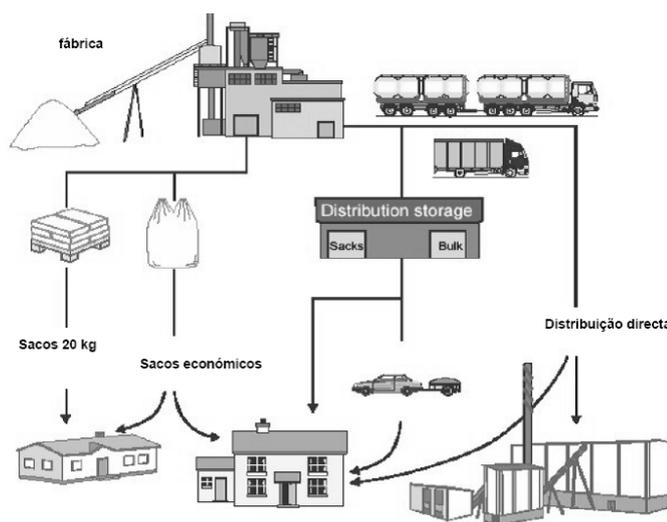


Figura 42 - Diagrama do sistema de distribuição dos pellets aos consumidores (Fonte: Loução, 2008).

5. Combustão dos pellets

5.1 Propriedades de combustão dos Pellets

O presente capítulo tem como objectivo a descrição do poder calorífico superior de um combustível sólido (pellets), por recurso a um calorímetro iso-hiperbólico seguindo o procedimento normativo ASTM D 1989. O poder calorífico superior de um determinado combustível é a máxima quantidade de energia passível de ser aproveitada da queima completa de uma unidade de massa dessa substância (CBE, 2008). Assim, o poder calorífico é determinado a partir de uma amostra de biomassa, introduzida num calorímetro iso-hiperbólico, em condições controladas, numa atmosfera de oxigénio. Este poder calorífico é calculado a partir de medidas de temperaturas (onde são usados sensores electrónicos), efectuadas antes, durante e após o processo de combustão, eliminando a contribuição de outros processos de transferência de calor externos (CBE, 2008).

O cálculo do poder calorífico da referida amostra foi feito segundo o algoritmo descrito na norma ASMT D 1989, procedendo os intervenientes no projecto CBE às devidas correcções nela descrita. Assim sendo, os resultados obtidos na determinação do poder calorífico estão descritos na tabela 14.

Tabela 14 – Resultados da determinação do poder calorífico (variância e o intervalo de confiança) (Fonte: CBE, 2008).

Espécie	Parte	PCS (kJ/kg)	STD	10%STD
Pinheiro	Ramos	19 085,93	412,61	155,70
	Bicadas	20 287,04	121,32	63,10
Eucalipto	Ramos	17 537,01	348,85	181,45
	Bicadas	21 334,15	93,65	48,71

5.2. Emissões obtidas na combustão em função da biomassa incorporada nos pellets

5.2.1 Composição da biomassa florestal

As características da biomassa incluem na sua composição a celulose, lenhina, lípidos, proteínas, açúcares simples, amido, hemi-celuloses, hidrocarbonetos, cinzas, entre outros compostos. A concentração de cada grupo depende da espécie, tipo de tecido, estado de crescimento e condições de crescimento.

Relativamente à celulose, esta é um hidrato de carbono de cadeia longa não ramificada, constituída por unidades D-glucose, celobiose e com ligações glicosídicas 1-4 (Jenkins et al., 1996), com composição elementar $C_6H_{10}O_5$. Com certos estudos tem-se deparado que, utilizando diferentes tipos de celulose oriundos de diferentes materiais e processos, apresentam praticamente a mesma composição sendo, em todos os casos, muito semelhantes à celulose pura, o que mostra que a sua variação estrutural é desprezável (Sheng and Azevedo, 2001).

Quanto às hemi-celuloses, estas são, nada mais nada menos, polissacárideos com composição variável, ou seja, inclui monossacárideos de 5 a 6 átomos de carbono. A sua estrutura é muito idêntica à da celulose, apesar de ser mais curta e apresentar-se com mais ramificações (Sheng and Azevedo, 2001). Já à lenhina, é um polímero irregular, ramificado, de unidades de fenipropano unidas por ligações de éter e ligações de carbono-carbono (Jenkins et al., 1996)

Apesar de ser constituída principalmente por hidratos de carbono, a biomassa apresenta-se com muito mais oxigénio que os combustíveis fósseis convencionais, incluindo o carvão, correspondendo assim a cerca de 30 a 45 % da matéria seca. O que quer dizer que teoricamente a biomassa precisa de menores quantidades de ar para iniciar a sua combustão (Tabarés et al., 2000). No entanto, o carbono é o principal constituinte, tal como nos combustíveis fósseis, representando cerca de 30 a 60 % da matéria seca, seguindo-se o oxigénio. O terceiro composto com maior representação é

o hidrogénio com cerca de 5 a 6 % da matéria seca. O azoto, enxofre e o cloro em último lugar com uma percentagem mais reduzida cerca de 1 % da matéria seca sendo, no entanto responsáveis pela formação de emissões poluentes. Caso disso é o azoto, fazendo este parte da constituição proteica das plantas e elemento indispensável para o crescimento das mesmas, é este composto responsável pelas emissões de NO e NO₂ (Jenkins *et al.*, 1996).

5.3 Combustão da biomassa

A combustão da biomassa é encarada como sendo um processo termoquímico exotérmico de conversão de energia química, retida num determinado combustível, em térmica (Chiaramonti, 2007). De uma forma sucinta, a combustão envolve sempre dois reagentes fundamentais: o combustível e o oxigénio, onde a fonte de O₂ é o ar, sendo este constituído, em base volumétrica por aproximadamente, 21 % de O₂, 79 % de N₂, 1% de Ar e 0,03 % de CO₂.

O processo de combustão permite libertar toda a energia retida no combustível. Para tal, e para causar a ignição dos combustíveis, são necessárias temperaturas bastante elevadas e promover uma boa mistura ou turbulência entre estes dois compostos (oxigénio e combustível) assim como tempo suficiente para terminar todo o processo.

As propriedades e a composição dos combustíveis são estabelecidas através da análise dos mesmos. A análise instantânea, que se baseia na determinação do conteúdo em humidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo, permite recolher informações, em função da qual se estabelecerá o tipo de tecnologia a utilizar na sua combustão (Loução, 2008). Quanto à análise química/elementar, este processo consiste em determinar o conteúdo existente de carbono, hidrogénio, azoto, enxofre, humidade, metais presentes nas cinzas e oxigénio, sendo esta informação depois utilizada para a realização, por exemplo de balanços de massa de energia (Loução, 2008).

As principais características que levam a afirmar que a biomassa é um bom combustível são: a sua facilidade de secagem, as baixas temperaturas de ignição, elevado teor em voláteis (Werther *et al.*, 2000), elevada taxa de combustão (Kanury, 1994), baixa energia de activação (Tabarés *et al.*, 2000) e o elevado poder calorífico que esta apresenta. Mas, por outro lado nem todas estas características se apresentam como benéficas, como é o caso da humidade, da granulometria, da densidade e da heterogeneidade dos materiais lenhosos que irão, por sua vez limitar a eficiência na combustão (Kanury, 1994).

Um outro aspecto a ter em conta é o facto de ser praticamente impossível alcançar uma mistura completamente homogénea entre o combustível e o comburente, especialmente quando se tem em conta o tão curto espaço de tempo em que acontece a mistura (Tabarés *et al.*, 2000).

O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia libertada por unidade de massa, podendo ser classificado em *poder calorífico superior* (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O PCS existe quando os produtos de combustão condensam devido à diminuição da temperatura, quantificando-se o calor de vaporização da água; já pelo *poder calorífico inferior* (PCI) acontece quando se leva em conta que todos os produtos da combustão, incluindo a água, se encontram na forma gasosa, não se quantificando o calor de vaporização da água (Stultz *et al.*, 1992).

O poder calorífico superior pode ser calculado, usando os resultados da análise elementar do combustível, através da expressão:

$$PCS = \frac{(11,51 \times C + 34,29 \times H_2 + 4,32 \times S - 4,32 \times O_2)}{m_{ar}} \times 100$$

Onde:

PCS – Poder Calorífico Superior [kJ/kg]

C – massa de carbono [%]

H₂ – massa de hidrogénio [%]

S – massa de enxofre [%]

O₂ – massa de oxigénio [%]

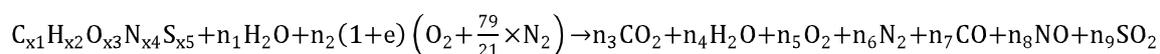
m_{ar} - massa de ar estequiométrica [kg/23,3x10⁶ J]

Relativamente ao poder calorífico inferior este pode ser calculado a partir da seguinte expressão:

$$PCI = PCS - 10,30 \times (H_2 \times 8,94)$$

O processo de combustão da biomassa apresenta-se um pouco mais complexa do que a dos outros combustíveis (ex. metano, gasolina, etc.), uma vez que a biomassa exhibe uma composição físico-química complexa (Tabares *et al.*, 2000) e muito variável entre espécies diferentes.

Assim, e de uma forma simples, a reacção global da combustão da biomassa com o ar pode ser apresentada pela seguinte equação química:



A composição química da biomassa é simplificada, sendo representada como um composto formado apenas por C, H, O, N, S e H₂O. Nesta equação, o ar atmosférico é simplificado, sendo caracterizado por uma mistura binária de N₂ e O₂ (numa proporção de N₂/O₂=3,76), desprezando-se assim o CO₂, vapor de água e gases raros da atmosfera. Os produtos formados na combustão apenas se consideram a formação de N₂, CO, NO, SO₂, CO₂ e H₂O, sendo estes dois últimos resultantes da evaporação da água e da reacção do hidrogénio com o combustível (Loução, 2008).

5.3.1 Poluentes

Com a combustão da biomassa as emissões de poluentes resultantes subdividem-se em dois grupos principais. O primeiro grupo, contem as emissões de poluentes designados por inqueimados que são, nada mais, nada menos, resultantes dos equipamentos envolvidos e dos processos utilizados, enquanto o segundo grupo abrange as emissões essenciais a cada grupo de combustível (Werther et al., 2000), mediante a origem da biomassa (ver tabela 15).

Tabela 15 - Principais fontes de emissões poluentes da combustão da biomassa (Fonte: Werther et al., 2000).

Combustível	Emissões
Todos os tipos de biomassa	CO, HCl, condensados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, partículas
Todos os tipos de biomassa	NO _x , N ₂ O
Madeiras urbanas, palha, ervas, culturas energéticas	HCl, SO ₂ , KCl, K ₂ SO ₄ , NH ₄ Cl
Todos os tipos de biomassa	Cinzas
Biomassa com metais pesados	Pb, Zn, Cd, Cu, Hg, etc.

Relativamente ao primeiro grupo, onde estão inseridos os poluentes inqueimados, inclui-se também o CO, hidrocarbonetos, voláteis condensados,

aromáticos, hidrocarbonetos policíclicos, etc. A formação destes poluentes acontece devido à baixa temperatura de combustão, ou seja, à escassa mistura combustível - ar e ainda, ao curto tempo de residência na câmara de combustão. Em sistemas de combustão de biomassa menos eficientes podem, observar-se valores até 1000-5000 mg/Nm³ de CO, 100 a 500 mg/Nm³ de HCl, 0,1- 1 mg/Nm³ de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e 150 a 500 mg/Nm³ de hidrocarbonetos (Werther et al., 2000). De uma maneira generalizada, estas emissões podem ser reduzidas, dirigindo a combustão da forma a que esta atinja um grau de queima mais eficaz ou um menor teor de carbono nas cinzas, através de uma mistura adaptada combustível – comburente, temperaturas de combustão elevadas e adequado tempo de resistência na região de altas temperaturas (Werther et al., 2000).

Quanto ao segundo grupo, a emissão de poluentes está relacionada com a composição da biomassa integrada. De entre as emissões libertadas na combustão da biomassa poder-se-á destacar os compostos de azoto (NO_x e N₂O), óxidos de enxofre (sobretudo o SO₂), gases ácidos como, por exemplo HCl e metais pesados, tais como Pb, Zn, Cd (Werther *et al.*, 2000).

O aparecimento do NO_x é devido à combustão de elementos voláteis presentes sendo, na maioria NH₃ e HCN enquanto que a oxidação do azoto presente no resíduo carbonoso é resultante da pirólise. Usualmente, o NH₃ divide-se em radicais de NH₂ e NH, podendo ser oxidados para formar NO ou, em alternativa, poderão reagir com os radicais NO e OH para formar N₂. Relativamente ao azoto presente no resíduo carbonoso este irá reagir formando NO, N₂ e N₂O, no entanto, este último é excessivamente sensível à temperatura, formando N₂ a temperaturas superiores a 900° C (Werther *et al.*, 2000). No caso do enxofre e dos metais pesados, devido ao seu baixo teor existente na biomassa, as emissões existentes são em muitos dos casos desprezados mas, poder-se-ão tornar importantes caso se utilize biomassa proveniente de madeiras pintadas ou tratadas (Jenkins *et al.*, 1996).

5.3.2 Humidade da biomassa

A biomassa é um produto natural. Como tal, a concentração natural da água varia consideravelmente mesmo que não existam influências externas. Na prática, a forma mais rápida de calcular este teor é com base em valores recolhidos ao longo de vários anos (Loução, 2008).

O teor de água presente na biomassa lenhosa fresca situa-se entre os 40% e 60%. As plantas verdes apresentam um teor de água um pouco mais elevado, isto é cerca de 80%. Relativamente à biomassa com secagem ao ar livre, esta apresenta um teor de água que, dependendo da estação do ano e da humidade ambiental, varia entre os 12% e os 18%.

As fontes de bioenergia sólidas podem ser classificadas de diversas formas, sendo o seu poder calorífico, sem dúvida, a característica mais evidente, para qualquer fonte de energia. No que diz respeito à biomassa, esta característica é directamente influenciada pelo conteúdo de água, (ver figura 43).

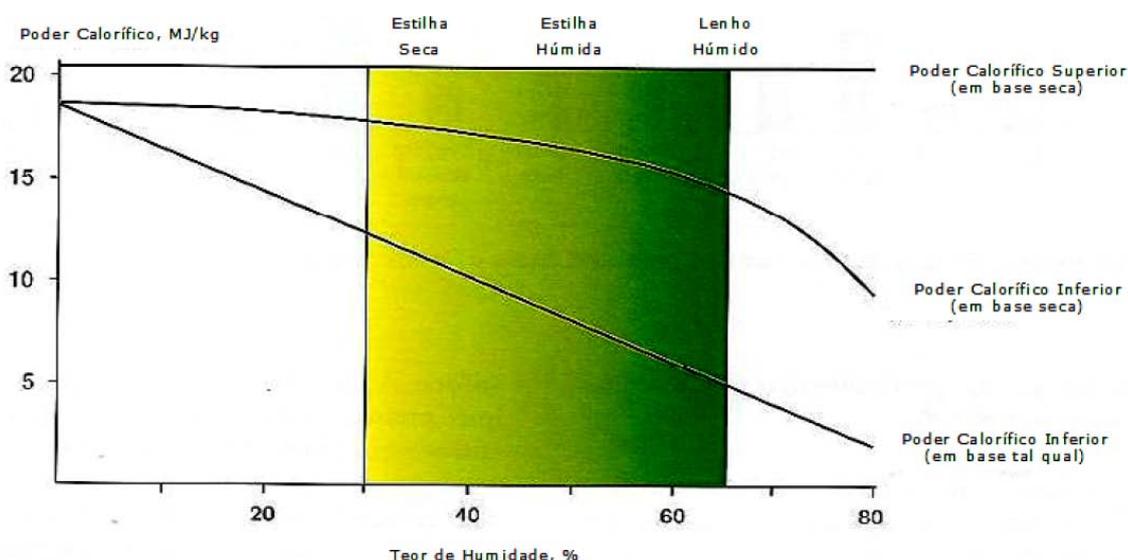


Figura 43 - Influência do teor de humidade no poder calorífico da biomassa (Fonte: Tekes, 2007).

O poder calorífico mais baixo (PCMB) pode ser calculado recorrendo à seguinte expressão matemática (CEN 15234 Março de 2006):

$$PCMB = \frac{PC_{seco} \times (100 - \%H_2O) - 2,44 \times \%H_2O}{100}$$

Onde:

PC_{seco} – poder calorífico da madeira sem água

$\% H_2O$ – percentagem do teor da água na madeira, no estado em que é encontrado.

6. Conclusões

Na primeira parte do trabalho, foi realizado um estudo de avaliação da produção de biomassa a partir de biomassa florestal e agrícola, com base em dados estatísticos e de bibliografia disponível pela universidade e pelas várias entidades, como o INE, DGF entre outras.

Do estudo elaborado na presente tese poder-se-á afirmar que Portugal possui um enorme potencial no que diz respeito à biomassa.

Relativamente à biomassa proveniente das florestas, os números são significativos, sendo o pinheiro bravo, o eucalipto, o sobreiro e a azinheira as espécies mais abundantes ocupando, no conjunto, quase 85% da área florestal portuguesa.

Estima-se com base no estudo realizado que, a produção de resíduos através das operações florestais, varia entre os 1,7 e os 2,5 milhões de toneladas secas, apesar de esta variação ser significativa, esta só se justifica porque o valor mais elevado inclui apenas os povoamentos de eucalipto e pinheiro bravo, enquanto que o valor mais se baixo refere a todos os resíduos florestais.

No que diz respeito à biomassa florestal, esta apresenta algumas limitações, uma vez que apresenta baixa densidade e um difícil manuseamento, dada a sua heterogeneidade. Um outro factor penalizador é as longas distâncias a que a biomassa é sujeita uma vez que apresenta baixa densidade, conseguindo-se minimizar apenas quando a biomassa é densificada, ou seja, transformada em pellets, permitindo, assim, o transporte para maiores distâncias (Loução, 2008).

Quando se fala na criação de mercado de biomassa florestal, há que estabelecer regras de base que permitam a estabilização da relação oferta/procura, de forma a merecerem confiança no que diz respeito ao fornecimento da biomassa. Daí a necessidade de criação de unidades empresariais, capazes de escoar os resíduos. (Loução, 2008).

Poder-se-á ainda enunciar muitos outros constrangimentos, tais como:

- ✓ Inexistência de uma política conjunta, tanto para a biomassa proveniente do sector agrícola como no sector florestal;
- ✓ A falta de informação actualizada no que diz respeito a disponibilidade de biomassa florestal para fins energéticos devidamente caracterizada quanto à sua origem e localização geográfica;
- ✓ Uma maior necessidade de investimento da parte empresarial no desenvolvimento de novas soluções ou ajustes tecnológicos;
- ✓ Orientação das empresas para o aproveitamento dos resíduos;
- ✓ Grandes dificuldades no abastecimento, uma vez que, nem sempre as diferentes fontes e agentes intervenientes na fileira florestal se dedicam exclusivamente ao negócio da biomassa;
- ✓ Ausência de trabalhadores no meio rural;
- ✓ Ausência de mercado para os resíduos florestais em grande escala;
- ✓ Ausência de informação que apoiem as políticas, os incentivos e as tecnologias a utilizar;
- ✓ Dificuldades na ligação entre a exploração de material lenhoso e a recolha dos resíduos florestais;
- ✓ Uma maior necessidade em ajustar certas e determinadas tecnologias para os diferentes resíduos, uma vez que eles têm origens diferentes;
- ✓ Mercado muito imprevisível.

No que diz respeito à biomassa, também esta tem as suas vantagens, uma vez que Portugal apresenta um enorme potencial no domínio das energias renováveis, atendendo à localização, recursos naturais do seu território e as características (Loução, 2008). Segundo os estudos realizados e a informação recolhida na diversa bibliografia, pode-se afirmar com clareza que o aproveitamento da biomassa, seja ela de que tipo for, constitui um dos grandes desafios para a política energética do nosso país pois, é uma política que vai ao encontro dos objectivos traçados de reforço da segurança e da própria diversificação do abastecimento de energia, da coesão social, da economia e da protecção ambiental (Loução, 2008).

Assim, a Agência Internacional de Energia (AIE) calcula que aproximadamente daqui mais ou menos doze anos, 30% do total da energia consumida pela humanidade seja proveniente da biomassa. Conclui-se, então, que o aproveitamento da biomassa florestal como fonte de energia renovável, pode declarar-se como uma oportunidade de valorização dos meios menos desenvolvidos como, por exemplo, os meios rurais.

Poder-se-á mesmo afirmar que a energia oriunda da biomassa apresenta um vasto conjunto de vantagens, tais como : a redução de emissão de gases com efeito de estufa, o aumento da diversidade de oferta de energia, a criação de novos postos de trabalho, a produção de energia sustentável a longo prazo, o desenvolvimento económico local e a diminuição das importações de combustíveis convencionais (Loução, 2008).

Contudo, a utilização da biomassa apresenta ainda muitas outras vantagens como por exemplo:

- ✓ Florestas mais limpas, por conseguinte diminuição de risco de incêndio, provocando uma paisagem muito mais atractiva;
- ✓ Elevada quantidade e diversidade de materiais disponíveis;
- ✓ Disponibilidade elevada, praticamente em todo o país;
- ✓ Baixo custo do material;
- ✓ Balanço positivo de CO₂, ou seja, a biomassa florestal consegue reter mais CO₂ do que liberta durante a combustão;
- ✓ Aumento da segurança do aprovisionamento;
- ✓ Energia armazenável e despachável, ou seja, com possibilidade de transformar esta energia em calor ou electricidade quando necessário;
- ✓ Criação de riqueza (investimento e emprego).

Mediante este estudo realizado em relação à biomassa florestal poder-se-á concluir que as vantagens são enormes e, com o aperfeiçoar de novas técnicas, as desvantagens acima descritas serão ultrapassadas.

No que diz respeito aos resíduos provenientes da agricultura, poder-se-á afirmar que este sector é um dos grandes responsáveis pela economia do nosso país,

representando cerca de 42% da superfície total de Portugal, apesar de estar a atravessar uma enorme crise. Quando se quantificam os resíduos provenientes da agricultura, é necessário ter em conta os resíduos produzidos pelas culturas temporárias assim como das permanentes. Nas culturas temporárias, os resíduos delas provenientes estão estimados em 1324 mil toneladas secas/ano, mas só os resíduos produzidos nas culturas do cereal tem aplicação, sendo o restante queimado no local sem aproveitamento energético. No que diz respeito às culturas permanentes, foram avaliados os resíduos provenientes da limpa das principais culturas, particularmente o olival, vinha e árvores de fruto, onde é estimado que a produção anual ronda as 683 mil toneladas secas/ano. Assim, com base no estudo feito, poder-se-á afirmar, que actualmente os resíduos resultantes das podas têm um aproveitamento muito reduzido, ora pela acessibilidade, ora pela sua dispersão geográfica, daí afirmar que uma pequena parte vai ter uma aplicação energética. Exemplo disso são as vidres resultantes das podas das videiras para fins energéticos pois apesar de as videiras representarem uma significativa parcela no território Nacional, acabam por dificultar a sua recolha em alguns locais do país nomeadamente região do Douro.

Numa segunda parte do trabalho e após a quantificação da biomassa, será necessário dar um rumo a toda esta biomassa. Neste enquadramento, a indústria de pellets aparece como uma “tábua de salvação” para todos estes problemas ambientais e sociais. Neste contexto, o capítulo três foca-se essencialmente na descrição da norma e limites de incorporação dos resíduos florestais e agrícolas na fabricação dos pellets. Assim, o Comité Europeu de Normalização (CEN) e os institutos reguladores de cada país produtor de combustíveis bioenergéticos (excepto a Suécia) cooperaram na elaboração de uma norma comum a toda a Comunidade Europeia, estabelecendo determinados parâmetros que a definem tais como o dimensionamento, a massa volúmica, conteúdo de humidade, conteúdo das cinzas, a quantidade de pó, concentração de substâncias, entre outras.

A norma sueca difere das normas europeias vigentes, uma vez que especifica as concentrações e a qualidade da matéria que pode ser integrada nas diferentes classes de pellets.

Quando se fala de peletização sabe-se, com base no estudo efectuado, que os mecanismos na produção dos pellets se subdividem em dois grupos: o pré-tratamento e o pós-tratamento. O pré-tratamento engloba a recepção da biomassa, homogeneização, trituração, os silos de armazenagem, a secagem e a alimentação. Enquanto que o pós-tratamento engloba o arrefecimento (etapa esta que tem uma particularidade pois o material que não respeitar as normas volta imediatamente ao ponto de partida), a bandeja transportadora, os pellets terminados, passando pela embalagem acabando este grupo no armazenamento.

Será interessante focar a peletizadora pois, após o redimensionamento da matéria-prima e a obtenção de um conteúdo de humidade aceitável, a etapa que se segue é mesmo a de peletização. Este tipo de máquina é composta por um sistema de alimentação, uma câmara de mistura, por uma matriz e rolo de pressão. Relativamente às máquinas peletizadora, estas podem ser do tipo:

- ✓ *Máquina peletizadora com matriz cilíndrica vertical*, ou seja trata-se de um mecanismo de compressão onde gira um ou três rolos e pressão numa matriz sólida.
- ✓ *Máquina peletizadora com matriz plana*, neste tipo de máquina a compressão é feita numa matriz plana e redonda, composta com rolos de pressão sobre a sua superfície.

O capítulo cinco faz sentido nesta tese uma vez que faz referência ao poder calorífico na combustão dos pellets. Assim, com base na bibliografia existente (CBE, 2008), pode-se concluir que o pinheiro tem um PCS inferior em relação ao eucalipto nos resíduos provenientes das bicadas mas, a situação inverte-se quando nos referimos aos ramos. Este cálculo teve como base o algoritmo descrito na norma ASTM D 1989, tendo-se efectuado todas as correcções nela descritas.

No que diz respeito às emissões obtidas na combustão em função da biomassa incorporada nos pellets, este é um assunto que está relatado no capítulo seis da presente tese. Assim, poder-se-á dizer que a biomassa florestal tem na sua composição a celulose, lenhina, lípidos, proteínas, açúcares simples, amido, hemi-celuloses,

hidrocarbonetos, cinzas entre outros compostos, dependendo estas concentrações da espécie, do tipo de tecido, do estado de crescimento e das condições de crescimento.

Relativamente à combustão da biomassa, esta é encarada como sendo um processo termoquímico exotérmico de conversão de energia química, retida num determinado combustível, em térmica (Chiaramonti, 2007). Assim, conclui-se que para existir combustão, são necessários dois reagentes fundamentais: o combustível e o oxigénio.

A título conclusivo poder-se-á afirmar que os principais poluentes libertados na combustão da biomassa estão divididos em dois grupos, fazendo parte do primeiro grupo os poluentes inqueimados, o CO, os hidrocarbonetos, voláteis condensados, aromáticos, hidrocarbonetos policíclicos, etc., relativamente ao segundo grupo os poluentes estão relacionados com a composição da biomassa integrada. É frequente o aparecimento do composto NO_x e N₂O (compostos de azoto). O aparecimento do NO_x, é devido à combustão dos elementos voláteis existentes nos pellets.

Para finalizar, ter-se-á que ter em conta a humidade presente na biomassa, dado que esta é um produto 100% natural, como tal, a concentração de água varia consideravelmente, mesmo que não existam influências externas. Como base nas pesquisas realizadas, poder-se-á afirmar que o teor de água presente na biomassa de lenhosas frescas situa-se entre os 40 e os 60 %, factor este de extrema influência no poder calorífico mais baixo (PCMB).

Conclui-se, ainda que, as plantas verdes apresentam uma percentagem de água cerca de 80%, logo mais elevada, do que a biomassa com secagem natural (ou seja, ao ar livre), apresentando esta valores que variam entre os 12 e os 18%, pois depende da estação do ano e da humidade ambiental.

Assim se conclui que, a biomassa florestal, em especial a densificação (pellets), é altamente competitiva em termos económicos, energéticos e muito valiosa quando contabilizada à luz dos critérios de Quioto (Loução, 2008).

7. Bibliografia

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

ADENE/INETI (2001). *Fórum Energias Renováveis em Portugal – Relatório Síntese*. Ed. ADENE/INETI, Lisboa.

Alakangas, E. (2002). Wood pellets in Finland – technology, economy and market. *OPET Bloch L.T. Conference on pellets*. Finlândia.

Chiaramonti, D. e Martelli F. (2007). *Biomass energy conversion technologies (thermal): Combustion –IMES*. Tese de Mestrado em Bioenergia, Modulo 2.4. Faculdade Ciências e Tecnologias -Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Centro de biomassa para a energia (CBE), (2008). Utilização da biomassa florestal residual para aproveitamento energético. UTAD, ESAC,FPFP.

Carvalho. J.L. (2006). *Energy from forestry: basics, advantages and problems, from a company perspective*. Portucel Soporcel Abastecimento. Lisboa.

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

Direcção Geral dos Recursos Florestais. (2007). *Estratégia Nacional para as florestas*. DGRF. Lisboa.

Dias, J. (2002). *Utilização da biomassa: avaliação dos resíduos e utilização de pellets em caldeiras doméstica*. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa.

Directiva 2003/30/CE, de 8 de Maio, relativa à *promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes*, Jornal Oficial das Comunidades Europeias L 123/42 17 de Maio de 2003.

DGF (2001). *Inventário Florestal Nacional - Portugal continental*. 3ª Revisão, 1995-1998. Ed. Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.

INE (1998 a 2001a). *Estatísticas Agrícolas 1997-1999*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INE (2001a). *O País em números. Informação Estatística 1991-1999*. Edição em CD-ROM. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INE (2001b). *Recenseamento Geral da Agricultura, 1999. Portugal. Principais Resultados*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

INE (2009). *Recenseamento Geral da Agricultura, 2008. Portugal. Principais Resultados*. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa.

Jenkins, B. e Baxter, L. (1996). *Combustion properties of biomass, biomass usage for utility and industrial power*. Ed Engineering Foundation Conferences. Utah.

Kanury, A. (1994). Combustion characteristics of biomass fuels. *Combustion Science and Technology* 97.

Loução, I. (2008). *Valorização da biomassa florestal, proveniente da doença de nemátodo de pinheiro, para produção de pellets*. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

Malisius, U. (2000). *Wood Pellets in Europe*. Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT. Austria.

Obernberger, I. and Thek, G. (2002). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their composition behaviour, *Proceedings of The First World Conference on Pellets*: 115 - 121. Estocolmo, 2 a 4 de Setembro.

Sheng, C. e Azevedo, J. (2001). *Progress report of bioflam Project*. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Stultz, S.C, Kitto, J.B. (1992). *Steam-it's generation and use*. The Babcock & Wilcox Company, Barberton. Ohio USA.

Tabarés, J. e Ortiz, L. (2000). *Feasibility study of energy use for densificated lignocellulosic material (briquettes)*.

VTT, 2001, *Production of forest chips in Finland*, OPET report

Werther, J. e Saenger, M. (2000). *Combustion of agricultural residues*. Progress in Energy and Combustion Science.

Sites consultados na internet

www.bioware.com.br/secoes.aspx?id=28

www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail

http://images04.olx.pt/ui/2/13/12/17161112_1.jpg

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a1/Timberjack_Forwarder.jpg

<http://home.furb.br/erwin/colheita/skidder.jpg>

www.agricortes.pt/portal/index.php?id=1160&layout=detail

http://ce.quebarato.com.br/classificados/secador-rotativo__2401065.html

www.pellet2002.com

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322004000400003

www.salmatec-gmbh.de

<http://www.biorreg-floresta.org/ponencias.php?po=03,12>

www.energiasrenovaveis.com/

www.ambienteonline.pt

www.dgrf.min-agricultura.pt

www.adene.pt

www.pezzolato.it

<http://www.willibald-gmbh.de/en/>

http://www.ecop.ucl.ac.be/aebiom/biomassnews/News9/Biomass9_3.htm

<http://www.eubia.org>

<http://www.pellets2006.com/>

http://www.pelletsystemsconsult.com/pellet_systems.html

<http://www.pelletheat.org/3/commercial/commercialBrochure3.pdf>

<http://www.carbono-zero.com/>

http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs/work_en.htm

<http://unfccc.int>

http://ec.europa.eu/index_pt.htm

http://www.aebiom.org/newsletter/September_October2007/Forest_residues_2007.pdf

http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_en.pdf

<http://www.bioenergytrade.org/downloads/sustainableforestsupplychainsoct192007.pdf>

http://ec.europa.eu/energy/library/599fi_en.pdf

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004D0156:PT:NOT>

http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_action_plan_en.pdf

<http://www.berr.gov.uk/files/file39040.pdf>

<http://www.dgge.pt/default.aspx?cr=6828>

<http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Engelbrecht.pdf>

http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN30%2C2007.04/EN30_EU25_Renewable_electricity_2006.pdf

http://www.ieabioenergy.com/library/157_PositionPaper-SustainableProductionofWoodyBiomassforEnergy.pdf

<http://www.biomass.ubc.ca/docs/MacDonald07.pdf>

<http://www.cti2000.it/solidi/WoodAshReport%20VTT.pdf>