

## **Solução Integrada de Valorização de Resíduos Florestais**

**Inês Maria Santos Morgado Ferreira**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Química**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Cristina Silva Fernandes

Co-Orientador: Prof. Doutor Clemente Manuel Pedro Nunes

Orientador Externo: Eng. João Vitor António Marto

### **Júri**

Presidente: Prof. Sebastião Manuel Tavares Silva Alves

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Cristina Silva Fernandes

Vogal: Prof.<sup>a</sup> Doutora Maria Rosinda da Costa Ismael

**Julho 2015**

**Nota:** Esta dissertação não foi escrita ao abrigo do novo acordo ortográfico da Língua Portuguesa.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à orientadora Professora Doutora Maria Cristina Fernandes e ao Professor Doutor Clemente Pedro Nunes a oportunidade que me deram para realizar este trabalho, assim como por todo o apoio, incentivo, ideias, sugestões, disponibilidade, paciência e atenção. A ambos o meu profundo agradecimento.

Ao Engenheiro João Marto a minha gratidão por ter aceite esta parceria, por todo o seu apoio, confiança, gentileza, conselhos e ajuda durante a minha estadia na Omnipellets.

À Engenheira Cláudia Sousa estou grata por todo o seu apoio, paciência, ajuda, amabilidade, cuidado, sugestões e disponibilidade.

Ao Engenheiro Hugo Costa o meu apreço pelo seu companheirismo, ajuda, paciência, compreensão, disponibilidade e boa disposição.

Ao Doutor Leonel Marto e aos restantes sócios do Grupo Martos pela incrível oportunidade que me proporcionaram e pela atenção dispensada durante a minha estadia na empresa Omnipellets.

À Ana Alcobia estou grata pela sua ajuda, disponibilidade e gentileza, bem como todos os funcionários da Omnipellets e da Martos pela camaradagem e pelo incrível acolhimento que me proporcionaram.

Ao Engenheiro Ferreira e ao Técnico Carlos Alegria pela sua colaboração no aprofundar e esclarecimentos de dúvidas e questões durante este percurso.

Ao Engenheiro Edgar Sousa pela disponibilidade e esclarecimentos.

Aos Técnicos, Rui e Jorge, bem como a restante equipa da HRV, pela simpatia, ajuda e trocas de informação.

À Engenheira Piedade Roberto, Engenheira Teresa Almeida e Engenheira Sónia, assim como à restante equipa do CBE, pela disponibilidade e colaboração das quais resultaria a realização do meu estágio na Omnipellets.

A todos os meus amigos, em especial à Ana Braz, Joana Temido, Paula Rosa e Tiago Dias, que me acompanharam diariamente ao longo deste trabalho, com palavras de carinho, paciência, ajuda, camaradagem e incentivo. Quero agradecer também ao João Pedro Machado por todo o apoio, ajuda, carinho, paciência e encorajamento.

Não ficariam completos os agradecimentos se não mencionasse a minha família, os meus pais e o meu irmão, nos dias mais complicados eles foram com as suas presenças, carinho e apoio o combustível para a minha força.

## RESUMO

Portugal é um país com escassos recursos energéticos, o que leva a uma diversificação de fontes energéticas, nomeadamente da utilização da biomassa. Neste trabalho pretende-se estudar alternativas possíveis de valorização integrada dos recursos florestais. Estudou-se o processo de produção de *pellets* pelo acompanhamento da fase de arranque de uma nova unidade, a Omnipellets, situada em Leiria. Verificou-se que a secagem da biomassa é a operação com maior importância neste processo, com elevado consumo térmico associado. É que o sucesso desta operação, em que se pretende obter um produto com teores de humidade entre 8 e 12%, assenta na estabilização do funcionamento da fornalha, em conjunto com uma câmara de mistura, e do teor de humidade da biomassa a secar.

Desenvolveu-se e aplicou-se uma abordagem à optimização da utilização de recursos disponíveis de biomassa, *BioPinch*, por aplicação duma metodologia semelhante à utilizada na minimização do consumo de hidrogénio contaminado considerando para este efeito o teor de cinzas e de humidade como impurezas da biomassa, aos produtos obtidos a partir das unidades industriais do Grupo Martos.

Da integração de uma unidade de *pellets* com uma unidade de cogeração verifica-se que partindo de uma fornalha com uma potência de 4 MW é possível produzir 218 kW de electricidade e 1084 kg/h de vapor, obtendo-se ainda assim uma secagem eficiente da biomassa para produção de *pellets*. Para este efeito fez-se o aproveitamento do vapor para pré-aquecimento do ar que dá entrada no processo e da água das estufas do Grupo Marto.

**Palavras-Chave:** biomassa, cogeração, *pellets*, valorização de resíduos florestais.

## **ABSTRACT**

Portugal is giving an increasing focus to renewable energy. Bioenergy and the use of forest biomass is pointed out as having a big impact in the Portuguese economy.

This work aims to study an integrated system of valorization of forest residues. The first step was to analyze in detail the start-up of a new pellet production unit, the Omnipellets, owned by Grupo Martos, located near Leiria. It was found that drying the biomass is a crucial operation in the process, with a very high heat consumption. The success of this operation, to obtain a product with a moisture content between 8 and 12%, is based on a stabilized and efficient mode of operation of the furnace in conjunction with a mixing chamber. Some modifications were introduced in the process during the start-up to enhance safety and the efficiency of all the process.

It was developed and applied an approach to optimize the use of available biomass sources, the BioPinch, that uses a similar method to the one used to minimize the contaminated hydrogen consumption. In this case the ash and moisture content were the two impurities considered in biomass from Grupo Martos.

The integration of a pellet plant with a cogeneration unit was also considered for a 4 MW furnace. It was possible to produce 218 kW of electricity and 1084 kg/h of steam. The heat integration is made by preheating the air that enters the mixing chamber and the hot waters for the greenhouses in Grupo Martos.

**Keywords:** biomass, cogeneration, pellets, valuation of forest residues.

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABELAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS .....	x
LISTA DE UNIDADES .....	xi
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Objectivos .....	1
1.2. Energia no Mundo .....	1
1.3. Energia na Europa .....	2
1.4. Energia em Portugal .....	3
2. VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA .....	5
2.1. Biomassa .....	5
2.1.1. Tipos de Biomassa .....	5
2.1.2. Potencial da Biomassa .....	5
2.1.3. Processamento da Biomassa .....	8
2.2. <i>Pellets</i> .....	9
2.2.1. Propriedades .....	9
2.2.2. Potencial dos <i>Pellets</i> .....	10
2.2.3. Produção de <i>Pellets</i> .....	11
2.3. Centrais Termoeléctricas .....	13
2.3.1. Ciclo de <i>Rankine</i> .....	14
2.3.2. Ciclo de Reaquecimento .....	15
2.3.3. Cogeração: Produção Combinada de Calor e Electricidade (CHP) .....	15
2.3.4. Co-Combustão .....	16
3. GRUPO MARTOS .....	17
3.1. A História .....	17
3.2. Descrição das Várias Unidades .....	18
4. ESTUDO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS DO GRUPO MARTOS .....	23
4.1. Omnipellets .....	23
4.1.1. Processo de Produção .....	23
4.1.2. Equipamentos .....	26
4.1.2.1. Fornalha .....	26
4.1.2.2. Secador .....	28
4.1.2.3. Prensa .....	32
4.2. Arranque do Processo de Produção .....	33
4.2.1. Problemas e Soluções Encontradas no Arranque do Processo .....	33
4.2.1.1. Linha de Verdes .....	33
4.2.1.2. Fornalha .....	34
4.2.1.3. Linha de Secagem .....	34

4.2.1.4.Linha de secos .....	35
4.2.2. Estudo/Análise do Arranque do Processo .....	36
4.2.2.1.Análise dos Ensaios de Arranque .....	37
4.3.Análise dos consumos de Energia e de Biomassa no Grupo Martos .....	46
4.3.1. Consumos de Energia .....	46
4.3.2. Consumos de Biomassa .....	48
5. PROPOSTAS DE CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO .....	55
5.1. <i>Pinch</i> da Biomassa .....	55
5.1.1. Cenário antes da implementação da Omnipellets .....	55
5.1.2. Cenário após a implementação da Omnipellets .....	58
5.2. Simulações Caso Base (Omnipellets) .....	61
5.2.1. Situação actual .....	61
5.2.2. Cenários de Integração no Caso Base .....	66
5.2.2.1.Produção de Água Quente para Aquecimento nas Estufas .....	67
5.2.2.2.Produção de Vapor de Água para a Operação de Peletização .....	68
5.3.Cenários de Integração da Omnipellets com Produção de Energia Eléctrica e de Vapor .....	69
5.3.1. Cenário 1 .....	69
5.3.2. Cenário 2 .....	71
6. CONCLUSÕES .....	73
7. BIBLIOGRAFIA.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Procura Mundial de Energia Primária até 2030 [1].	1
<b>Figura 1.2</b> – Produção de Energia na Europa a partir de diferentes fontes entre 2000 e 2011 [4].	2
<b>Figura 1.3</b> – Produção de energia eléctrica na União Europeia a partir de diferentes fontes entre 2000 e 2011 [4].	3
<b>Figura 1.4</b> - Produção de electricidade a partir de diferentes fontes em Portugal entre 2000 e 2011 [4].	4
<b>Figura 2.1</b> - Distribuição dos usos do solo em Portugal Continental em 2010 [15].	6
<b>Figura 2.2</b> - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies [15].	7
<b>Figura 2.3</b> - Cadeia de valor da biomassa para produção de energia [20].	8
<b>Figura 2.4</b> - Processo de produção de pellets. [27]	11
<b>Figura 2.5</b> - a) Matriz cilíndrica e b) Matriz plana [28].	12
<b>Figura 2.6</b> - Ciclo de Rakine e respectivo diagrama T-s [33].	14
<b>Figura 2.7</b> - Ciclo de Reaquecimento com duas turbinas e Diagrama T-s [33]	15
<b>Figura 2.8</b> – Esquema de uma unidade de cogeração integrada [35].	16
<b>Figura 2.9</b> – Esquemas de Co-combustão directa, indirecta e paralela [32].	16
<b>Figura 3.1</b> - Empresas do Grupo Martos.	17
<b>Figura 3.2</b> – Esquema das zonas de produção do Grupo Martos.	18
<b>Figura 3.3</b> – Biomassa de Resíduos Florestais (BRF)	19
<b>Figura 3.4</b> – Estilha com casca.	19
<b>Figura 3.5</b> – Finos de Estilha.	19
<b>Figura 3.6</b> – Esquema simplificado da zona de Valorização de Resíduos.	19
<b>Figura 3.7</b> – Finos de Casca.	19
<b>Figura 3.8</b> - Casca.	19
<b>Figura 3.9</b> - Serrim (serradura).	20
<b>Figura 3.10</b> – Estilha sem casca.	20
<b>Figura 3.11</b> - Esquema das unidades Serração e Paletes.	21
<b>Figura 3.12</b> - Retestos de Madeira.	21
<b>Figura 3.13</b> - Aparas de Madeira.	21
<b>Figura 3.14</b> - Esquema da unidade Nelsimar.	21
<b>Figura 3.15</b> - <i>Pellets</i> de madeira.	22
<b>Figura 3.16</b> - Esquema da unidade Omnipellets.	22
<b>Figura 4.1</b> - Diagrama de blocos simplificado do processo de produção de pellets.	25
<b>Figura 4.2</b> – Esquema da Fornalha.	26
<b>Figura 4.3</b> – Linha de secagem.	29
<b>Figura 4.4</b> – Secador rotativo da Turbo-Nor.	29
<b>Figura 4.5</b> – Esquema da Linha de Secagem.	29
<b>Figura 4.6</b> - Esquema de um secador rotativo de corpos concêntricos [41].	30
<b>Figura 4.7</b> - Fluxograma de Controlo do Secador.	31
<b>Figura 4.8</b> – Prensa de pellets PM30 da Andritz.	32
<b>Figura 4.9</b> - Esquema de uma prensa de pellets [42].	32
<b>Figura 4.10</b> - Esquema do processo de peletização [43].	33
<b>Figura 4.11</b> - Quebra de fusível.	35
<b>Figura 4.12</b> - Fusível partido.	35
<b>Figura 4.13</b> - Esquema da linha de secagem com as variáveis a controlar.	36
<b>Figura 4.14</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , $ST1$ e $ST2$ ) e da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) ao longo do tempo, no ensaio T1.	37
<b>Figura 4.15</b> - Representação gráfica das condições operatórias do secador ( $VR6$ , $VA1$ e $MS1$ ), da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) e da temperatura à saída do secador ( $ST2$ ) ao longo do tempo, no ensaio T1.	38
<b>Figura 4.16</b> – Representação gráfica da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) em função da temperatura à entrada do secador ( $ST1$ ) no ensaio T1.	38
<b>Figura 4.17</b> - Representação gráfica da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) em função da temperatura à entrada do secador ( $ST1$ ) no ensaio T1, a condições operatórias constantes com $VR6=17\%$ , $VA1=100$ e $MS1=60$ .	39
<b>Figura 4.18</b> - Representação gráfica da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) em função da temperatura à saída do secador ( $ST2$ ) no ensaio T1.	39
<b>Figura 4.19</b> - Representação gráfica da temperatura à entrada do secador ( $ST1$ ) em função da temperatura à saída da fornalha ( $T_{SF}$ ) no ensaio T1.	39



<b>Figura 4.20</b> - Representação gráfica da temperatura à saída do secador (ST2) em função da temperatura à entrada do secador (ST1) no ensaio T1. ....	40
<b>Figura 4.21</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T2. ....	41
<b>Figura 4.22</b> - Representação gráfica da temperatura à entrada do secador (ST1) em função da temperatura à saída da fornalha ( $T_{SF}$ ) no ensaio T2. ....	41
<b>Figura 4.23</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T3. ....	42
<b>Figura 4.24</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T4. ....	42
<b>Figura 4.25</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à entrada e saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T5. ....	43
<b>Figura 4.26</b> - Representação gráfica da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) em função da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) do ensaio T5. ....	43
<b>Figura 4.27</b> - Representação gráfica da temperatura à saída do secador (ST2) em função da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) do ensaio T5. ....	44
<b>Figura 4.28</b> - Representação gráfica da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) em função da temperatura à entrada do secador (ST1) do ensaio T5. ....	44
<b>Figura 4.29</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T6. ....	45
<b>Figura 4.30</b> - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T7. ....	45
<b>Figura 4.31</b> - Diferença entre as temperaturas ST1 e ST2 em função do teor de $H_S$ do ensaio T7. ...	46
<b>Figura 4.32</b> - Distribuição dos consumos eléctricos das várias unidades do Grupo Martos. ....	47
<b>Figura 4.33</b> - Distribuição dos consumos eléctricos na Serração + Paletes. ....	47
<b>Figura 4.34</b> - Distribuição dos consumos eléctricos da Omnipellets. ....	48
<b>Figura 4.35</b> - Esquema representativo de entradas e saídas de biomassa no Grupo Martos. ....	51
<b>Figura 4.36</b> - Esquema representativo de entradas, saídas e integrações de biomassa no Grupo Martos. ....	52
<b>Figura 5.1</b> - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em cinzas, antes da implementação da Omnipellets. ....	56
<b>Figura 5.2</b> - Representação gráfica do défice do teor de pureza em cinzas entre o recurso e a necessidade antes da instalação da Omnipellets. ....	56
<b>Figura 5.3</b> - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em humidade, antes da implementação da Omnipellets. ....	57
<b>Figura 5.4</b> - Representação gráfica do défice do teor de pureza em humidade entre o recurso e a necessidade antes da instalação da Omnipellets. ....	57
<b>Figura 5.5</b> - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza de cinzas e em humidade, antes da implementação da Omnipellets. ....	58
<b>Figura 5.6</b> - Representação do BioPinch de Biomassa relativamente ao teor da pureza em cinzas, após implementação da Omnipellets. ....	59
<b>Figura 5.7</b> - Representação gráfica do défice do teor de pureza em cinzas entre o recurso e a necessidade após a instalação da Omnipellets. ....	59
<b>Figura 5.8</b> - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em humidade, após a implementação da Omnipellets. ....	60
<b>Figura 5.9</b> - Representação gráfica do défice do teor de pureza em humidade entre o recurso e a necessidade após a instalação da Omnipellets. ....	60
<b>Figura 5.10</b> - Representação do Pinch de Biomassa relativamente ao teor da pureza de cinzas e em humidade, após a implementação da Omnipellets. ....	61
<b>Figura 5.11</b> - Simulação caso base com os dados da Tabela 5.1 obtida no Aspen Plus®. ....	62
<b>Figura 5.12</b> - Representação percentual do consumo térmico da energia produzida pela queima de BRF ao longo do processo de secagem para o caso base. ....	63
<b>Figura 5.13</b> - Esquema representativo das variáveis consideradas na análise de sensibilidade. ....	64
<b>Figura 5.14</b> - Simulação caso base com integração do aquecimento da água das estufas, obtida no Aspen Plus®. ....	67
<b>Figura 5.15</b> - Simulação caso base com integração de produção de vapor, obtida no Aspen Plus®. 68	

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Metas globais para a quota de energia a partir de Fontes de Energia Renováveis (FER) no consumo final bruto de energia em 2020 para Portugal [5].	2
<b>Tabela 2.1</b> - Potencial Europeu da biomassa em 2004 e para 2020 [12].	6
<b>Tabela 2.2</b> – Produção anual de biomassa florestal em Portugal em base seca em 2007 [17].	7
<b>Tabela 2.3</b> - Critérios de qualidade da ENplus [23].	9
<b>Tabela 2.4</b> – Unidades de produção de pellets instaladas em Portugal com as respectivas capacidades em 2014 [26].	10
<b>Tabela 4.1</b> – Condições operatórias nominais da fofnalha a biomassa.	27
<b>Tabela 4.2</b> - Variáveis a observar no controlo da fofnalha.	27
<b>Tabela 4.3</b> - Variáveis a manipular no controlo da fofnalha.	28
<b>Tabela 4.4</b> – Características nominais do Secador.	28
<b>Tabela 4.5</b> - Data dos ensaios (dias de produção) a considerar.	37
<b>Tabela 4.6</b> - Dados referentes à necessidade térmica no secador da Omnipellets.	48
<b>Tabela 4.7</b> – Características, disponibilidades, preços e possíveis aplicações dos produtos do Grupo Martos.	53
<b>Tabela 5.1</b> - Dados referentes à simulação da unidade Omnipellets no simulador Aspen Plus®.	62
<b>Tabela 5.2</b> - Resultados da simulação caso base da unidade Omnipellets no simulador Aspen Plus®.	63
<b>Tabela 5.3</b> – Análise de sensibilidade à perda de calor na fofnalha $Q_{fofnalha}$ , com valores de $ST1=350^{\circ}C$ e $F_{M\ Ar\ Fresco}=161161\ UM$ .	64
<b>Tabela 5.4</b> - Análise de sensibilidade ao caudal de ar fresco ( $F_{M\ Ar\ Fresco}$ ), com valores de $Q_{fofnalha}=22,1\ UP$ e $ST1=350^{\circ}C$ .	65
<b>Tabela 5.5</b> - Análise de sensibilidade ao caudal de ar fresco ( $F_{M\ Ar\ Fresco}$ ), com valores de $Q_{fofnalha}=22,1\ UP$ e $Q_{c.mistura}=10,4\ UP$ .	65
<b>Tabela 5.6</b> – Análise de sensibilidade à percentagem de humidade na entrada de ar de combustão e de ar fresco para $F_{M\ Ar\ Fresco} =161161\ UM$ , $Q_{fofnalha}=22,1\ UP$ , $Q_{c.mistura}=10,4\ UP$ e $Q_{secador}=6,5\ UP$ .	66
<b>Tabela 5.7</b> - Dados utilizados na simulação da unidade Omnipellets com produção de água quente para aquecimento das estufas.	67
<b>Tabela 5.8</b> - Resultados de simulações de produção de água quente com integração dos gases exaustão da unidade Omnipellets.	67
<b>Tabela 5.9</b> - Dados admitidos e utilizados na simulação da unidade Omnipellets com produção de vapor de água para a operação de peletização.	68
<b>Tabela 5.10</b> - Resultados de simulações de produção de vapor com integração dos gases exaustão da unidade Omnipellets.	69
<b>Tabela 5.11</b> - Dados referentes à simulação 1 de produção de energia eléctrica e com integração da unidade Omnipellets.	70
<b>Tabela 5.12</b> - Dados referentes à simulação 2 de produção de energia eléctrica e com integração da unidade Omnipellets.	71

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

€	-	Euro
AM	-	Aparas
BQ	-	Biomassa de Queima
BRF	-	Biomassa de Resíduos Florestais
C	-	Casca
CA	-	Camas de Animais
CHP	-	<i>Combined Heat and Power</i>
CO <sub>2</sub>	-	Dióxido de Carbono
CR	-	Ciclo de <i>Rakine</i>
E	-	Estilha
EC	-	Estilha com casca
ES	-	Estilha sem casca
FC	-	Finos de casca
FE	-	Finos de estilha
F <sub>M</sub>	-	Caudal mássico
H	-	Humidade
H <sub>E</sub>	-	Teor de humidade do serrim verde à entrada do secador
H <sub>S</sub>	-	Teor de humidade do serrim seco que saí do secador
ISMP-15	-	<i>International Standards for Phytosanitary Measures</i> No. 15
MDF	-	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MS1	-	Rotação do tambor do secador
P	-	Pressão
	-	<i>Pellets</i>
PCI	-	Poder Calorífico Inferior
PCS	-	Poder Calorífico Superior
Pot	-	Potência
Q	-	Calor
Q <sub>v</sub>	-	Caudal volumétrico
R	-	Retestos
s	-	Entropia
S	-	Serrim
ST1	-	Temperatura à entrada do secador
ST2	-	Temperatura à saída do secador
T	-	Temperatura
T <sub>SF</sub>	-	A temperatura à saída da fornalha
VA1	-	Rotação do ventilador centrífugo
VM1	-	Válvula monitorizada
VR6	-	Rotação da válvula rotativa 6
VRF	-	Valorização de Resíduos Florestais
ΔH <sub>vap</sub>	-	Entalpia de vaporização
ΔT	-	Diferença de temperaturas
ρ	-	Densidade mássica

## LISTA DE UNIDADES

%	-	Porcentagem
GW	-	Giga watt
h	-	Hora
Hz	-	Hertz
kg	-	Quilograma
kJ	-	Quilo Joule
km	-	Quilómetro
kton	-	Quilo tonelada
m	-	Metro
Mcal	-	Mega caloria
min	-	Minuto
MJ	-	Mega Joule
MW	-	Mega watt
Nm <sup>3</sup>	-	<i>Normal</i> metro cúbico
°C	-	Grau Celsius
seg (s)	-	Segundo
ton	-	Tonelada
UM	-	Unidade de massa
UP	-	Unidade de potência

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo principal estudar a viabilidade da integração de uma unidade de produção de *pellets* com uma central termoelétrica.

Para tal é necessário analisar o processo de produção de *pellets*, através da identificação dos equipamentos com maiores consumos energéticos e da avaliação das condições nominais e reais de operação. É importante também, analisar cenários de gestão e aproveitamento de diferentes biomassas disponíveis para este processo.

## 1.2. Energia no Mundo

A energia tem-se tornado, cada vez mais, uma necessidade essencial não só para os países desenvolvidos como também nos países em desenvolvimento e não desenvolvidos. A utilização de combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão, continua a ser a privilegiada face às restantes energias disponíveis, prevendo-se um crescimento da procura da energia eléctrica em cerca de 83% [1].

No entanto, estudos realizados pela IEA [1] e pela BP [2] estimam que a procura global de energia primária irá aumentar cerca de 50% até ao ano 2030, devido aos países em desenvolvimento como a China e a Índia. Na Figura 1.1 encontra-se representado a quantidade e o comportamento previsto para cada tipo de energia até 2030; onde o crescimento da procura do petróleo, do carvão e do gás natural prevalece, mas também se prevê, um aumento significativo da procura da energia proveniente de biomassa.

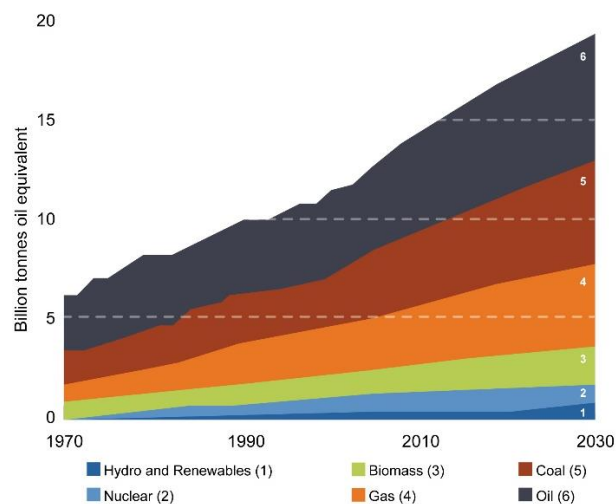


Figura 1.1 - Procura Mundial de Energia Primária até 2030 [1].

De acordo com o Portal da Energia da Europa [3] prevê-se que o petróleo se esgotará dentro de 35 anos, o gás natural em 55 anos e o carvão permanecerá ainda por mais 130 anos. A escassez destes tipos de combustíveis, especialmente petróleo e gás natural, deve-se ao facto de se tratarem de combustíveis de recursos limitados, que devido à sua elevada procura se têm vindo lentamente a esgotar. Na busca duma solução surgiu a necessidade de investir na utilização de energias renováveis.

Em 2011 as fontes com maior contribuição para a produção total de energia primária no Mundo foram o petróleo – 31%, o carvão – 29% e o gás natural – 21% [3].

No entanto, no que diz respeito à produção de electricidade entre os anos 2000 e 2011 a produção a partir de fontes renováveis triplicou, contribuindo com cerca de 4,1% para produção a nível Mundial, em que 44,5% dessa mesma contribuição refere-se a biocombustíveis e resíduos e 44,9 a energia eólica.

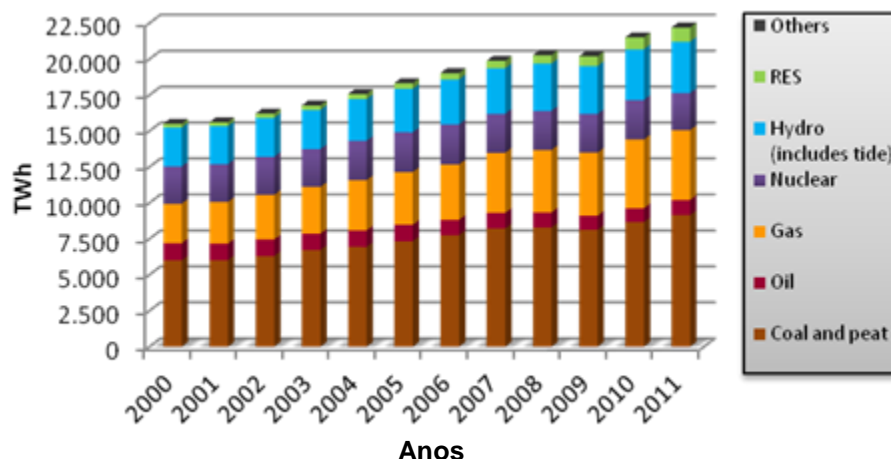


Figura 1.2 – Produção de Energia na Europa a partir de diferentes fontes entre 2000 e 2011 [4].

### 1.3. Energia na Europa

Com vista à protecção ambiental e na sequência da assinatura do Protocolo de *Kyoto*, a União Europeia traçou objectivos para 2020, que consistem:

- na redução da emissão de gases de efeito de estufa em 20% em relação aos níveis estabelecidos em 1990;
- no aumento da quota das fontes de energias renováveis para 20% da produção total de energia, incluindo um aumento destas energias nos transportes em 10%.
- no aumento da eficiência energética para 20%;

Para tal, em 2008, autorizou o pacote clima-energia que contém as ferramentas necessárias para atingir estes objectivos, obrigando, também, cada membro da UE a estabelecer políticas energéticas de forma a atingir os objectivos definidos. Na tabela apresentam-se as metas de energia definidas em Portugal.

Tabela 1.1 – Metas globais para a quota de energia a partir de Fontes de Energia Renováveis (FER) no consumo final bruto de energia em 2020 para Portugal [5].

Quota de FER em 2005 (%)	Quota de FER em 2010 (%)	Quota de FER em 2020 (%)
20,5	24,6	31

De acordo com a Directiva europeia 2001/77 / CE [6] a biomassa é actualmente responsável por cerca de metade (44 a 65%) de toda a energia renovável utilizada na União Europeia, atendendo ainda a 4% da necessidade energética total da UE. Há ainda outra directiva [7] que reporta: “Os Estados Membros devem dispor de mecanismos diferentes de apoio às fontes de energia renováveis a nível

nacional, incluindo certificados verdes, auxílio ao investimento, isenções ou reduções fiscais, reembolso de impostos e regimes de apoio directo aos preços.”

De acordo com relatórios da Comissão Europeia [6] existe um crescimento florestal anual de cerca de 35% que não é aproveitado, devido à escassez de mercado da madeira de menor dimensões resultante dos desbastes urbanos e florestais, que poderia ser valorizada na produção de energia eléctrica e térmica. Uma vez que a maior parte dos terrenos de exploração florestal é propriedade privada e com difícil acesso, a recolha da biomassa é dificultada.

Devido à crise económica instalada em 2008 a taxa de crescimento do consumo da energia eléctrica tem vindo a diminuir. No entanto com o desenvolvimento do sector industrial (37% do consumo de electricidade em 2011), do sector doméstico e do sector de transportes (ambos com 29% do consumo de electricidade em 2011), prevê-se que a médio longo prazo este apresentará um crescimento mais rápido e acentuado que as restantes energias disponíveis para consumo final [3].

Analisando a produção de energia eléctrica na União Europeia na última década é possível constatar que a energia produzida proveniente de fontes de energia renováveis tem vindo a aumentar significativamente nos últimos anos. No entanto, este tipo de energia depara-se com um conjunto variado de desafios, sendo o principal manter o nível de subsídios aceitável e com preços finais competitivos, à medida que o uso das energias renováveis aumenta [2].

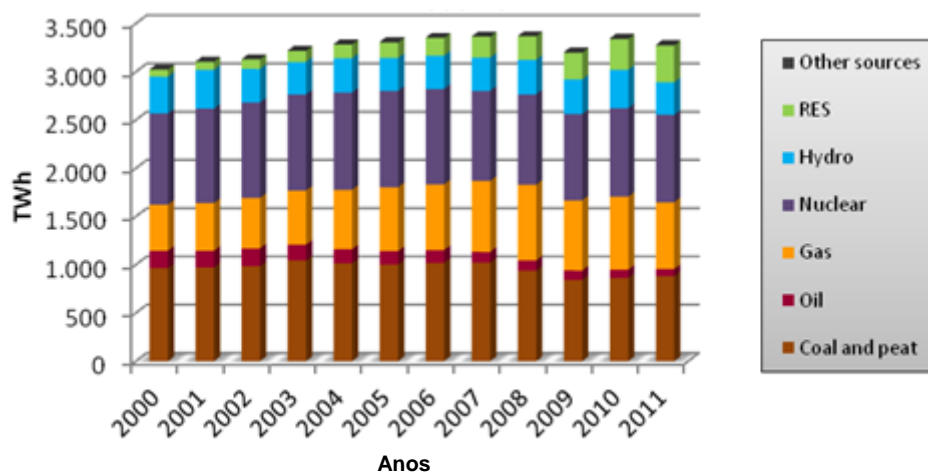


Figura 1.3 – Produção de energia eléctrica na União Europeia a partir de diferentes fontes entre 2000 e 2011 [4].

## 1.4. Energia em Portugal

As fontes de energia renovável em Portugal são extremamente importantes pois trata-se de um país pobre em recursos energéticos e sem reservas de combustíveis fósseis. Torna-se assim importante reforçar os níveis de segurança, promovendo a diversificação do leque energético e contribuindo para o aumento da sustentabilidade, que se encontra associada à produção, transporte e consumo de energia [8].

Actualmente mais de 40% da electricidade produzida em Portugal advém de fontes renováveis, visto que Portugal tem vindo ao longo dos anos a criar uma série de apoios financeiros e fiscais ao investimento em energias renováveis.

Na figura seguinte é visível o aumento da produção de energia eléctrica com recurso à biomassa e outras fontes renováveis, não hídricas, que atingiram em 2011 cerca de 20%, bem como a redução de energia eléctrica produzida através do carvão.

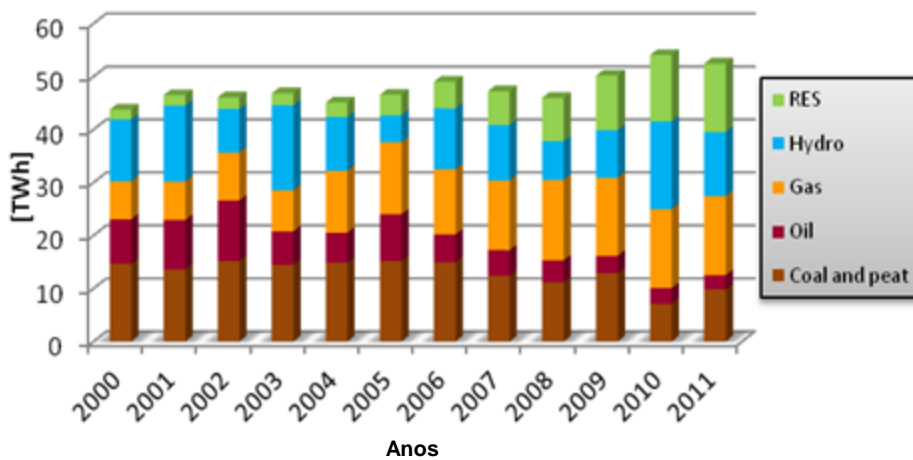


Figura 1.4 - Produção de electricidade a partir de diferentes fontes em Portugal entre 2000 e 2011 [4].



## 2. VALORIZAÇÃO DA BIOMASSA

A principal fonte de energia primária tem sido os combustíveis fósseis, mas devido à futura escassez deste tipo de combustíveis e à elevada emissão de gases de estufa, é importante que os países considerem uma produção de energia mais “verde” e limpa, como a energia produzida a partir de biomassa.

### 2.1. Biomassa

A Biomassa é definida como “a fracção biodegradável de produtos, resíduos e detritos de origem biológica provenientes da agricultura (incluindo substância de origem vegetal e animal), da exploração florestal e de indústrias afins, incluindo da pesca e da aquicultura, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos” [9]

A Biomassa é uma forma de energia renovável, pouco poluente e com uma emissão praticamente nula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (de acordo com o ciclo natural de carbono neutro). Apresenta à partida baixos custos associados, existe em abundância e tem relativamente elevado poder energético.

#### 2.1.1. Tipos de Biomassa

Existem vários tipos de biomassa, sólidos, líquidos e gasosos:

- **Biomassa sólida:** trata-se da forma mais comum e utilizada, sendo principalmente composta por resíduos florestais e agrícolas. Esta pode ser aproveitada directamente para produção de energia eléctrica e térmica por processos como a combustão, ou pode ser transformada em produtos como os briquetes, *pellets* e estilha de madeira;
- **Biomassa líquida:** que inclui a que parte de biomassa sólida e é processada de forma a adquirir o estado líquido produzindo bioetanol, biometanol e biodiesel;
- **Biomassa gasosa:** as formas mais comuns são o “*wood gas*” e o biogás, que resultam dos processos de gaseificação da madeira e da digestão anaeróbia.

No âmbito do presente trabalho será abordada a biomassa com origem florestal.

#### 2.1.2. Potencial da Biomassa

A biomassa é uma fonte de energia renovável, utilizada na geração de electricidade e calor, por aproveitamento directo ou por transformação em biocombustíveis.

Trata-se da quarta maior fonte de energia primária, depois do petróleo, carvão e gás natural, com uma disponibilidade superior a 10% na oferta global [10].

Nos países mais industrializados a biomassa possui em média um contributo na produção de energia inferior a 10%, apresentando valores entre 20 e 30% nos países em desenvolvimento [11].

A exploração da biomassa enfrenta alguns desafios como disponibilidade de água, terrenos para exploração, o uso de fertilizantes e técnicas de controlo de pragas, e competição com produção de alimentos, a nível global, Europeu e local. No entanto, de acordo com o EREC [12] a Europa possui um elevado potencial para a exploração de biomassa para produção de energia que não é valorizado, sendo assim importante desenvolver e investir neste potencial a nível internacional, nacional e regional.

Tabela 2.1 - Potencial Europeu da biomassa em 2004 e para 2020 [12].

Biomassa	2004 (%)	2020 (%)
Florestal	85%	34%
Agrícola	5%	44%
Resíduos	10%	10%
Importações	-	11%

Como é possível observar na Tabela 2.1 os resíduos florestais em 2004 representam a maior contribuição para o potencial Europeu. Para os resíduos agrícolas prevê-se um aumento de cerca de 40% para o ano 2020, diminuindo o potencial dos resíduos florestais. [13]

Portugal apresenta um elevado potencial no uso de energias renováveis, em que a sua localização, as suas características territoriais e recursos naturais proporcionam a utilização de energia a partir da biomassa, solar, eólica e hídrica [14].

De acordo com o Instituto da Natureza da Conservação e das Florestas [15] e a APEB [16] cerca de 35% (Figura 2.1) do terreno português é ocupado por floresta, proporcionando assim maior valor económico do que outras florestas na Europa. Todavia entre 1995 e 2010 a área florestal diminuiu com uma taxa de cerca de 0,3% por ano [15], possivelmente devido ao número elevado de incêndios se têm registado no Verão.

As áreas florestais incluem terrenos de exploração florestal. A percentagem referente a matos e pastagens pode ser vista como potencial terreno de exploração florestal, aumentando assim a área potencialmente disponível para floresta. Os terrenos com finalidades agrícolas representam 24% da ocupação nacional (Figura 2.1).

Embora Portugal possua uma elevada área florestal esta não se encontra distribuída geograficamente pela totalidade do país, concentrando-se maioritariamente no interior Norte e Centro de Portugal, em zonas de difícil acesso aumentando o custo da recolha da biomassa.

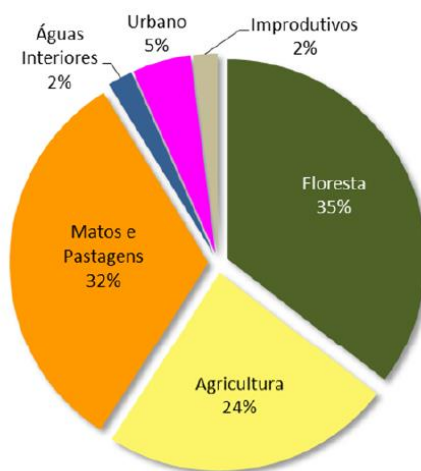


Figura 2.1 - Distribuição dos usos do solo em Portugal Continental em 2010 [15].

Como se pode constatar na Figura 2.2 o Eucalipto é a espécie com maior predominância em Portugal, uma vez que apresenta um ciclo de vida curto e possui grande valor comercial na indústria do papel. Em segundo plano está o Pinho e o Sobreiro. O Pinho devido às suas características é preferencialmente utilizado para a produção de móveis, produção de energia em centrais de biomassa e de biocombustíveis como os *pellets*, enquanto o sobreiro é aproveitado, preferencialmente, na indústria da cortiça.

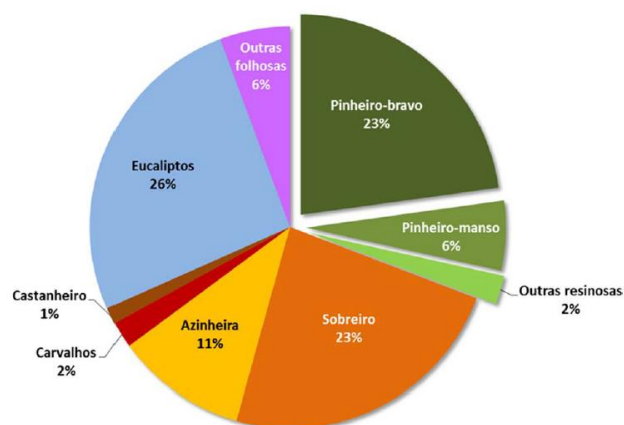


Figura 2.2 - Distribuição das áreas totais por espécie/grupo de espécies [15].

Na Tabela 2.2 encontra-se a produção anual em Portugal de biomassa florestal em 2007.

Tabela 2.2 – Produção anual de biomassa florestal em Portugal em base seca em 2007 [17].

Biomassa	Total (ton)
Arbustos	2 573 292
Pinho Marítimo	3 206 071
Eucalipto	1 775 205
Pinho	83 652
Castanheiro	49 270
Sobreiro	295 029
Azinheiro	191 044
Carvalho	157 073
<b>Total</b>	<b>8 330 636</b>

A falta de incentivo de investimento no sector florestal deve-se ao valor reduzido dos produtos resultantes, à ausência de sistemas de seguros florestais, ao elevado risco de incêndio e à falta de apoio na gestão dos terrenos. A dificuldade na gestão florestal deve-se ao facto de existirem muitos proprietários privados, que possuem cerca de 84,2% da área florestal. Dos restantes 15,8%, 2% pertence ao estado e 13,8% a municípios [18].

### 2.1.3. Processamento da Biomassa

De forma a garantir um mercado de biomassa florestal com equilíbrio entre a oferta e a procura, é necessário estabelecer condições básicas no fornecimento desta a custos adequados e a existência de unidades capazes de processar resíduos e gerir a parte logística, como por exemplo a implementação de parques de biomassa [19].

Na Figura 2.3 encontra-se o percurso da biomassa desde a sua recolha à produção de energia eléctrica ou térmica.

Na Europa a produção da biomassa é maioritariamente feita por proprietários privados e nos últimos anos tem havido aumento a partir de culturas energéticas.

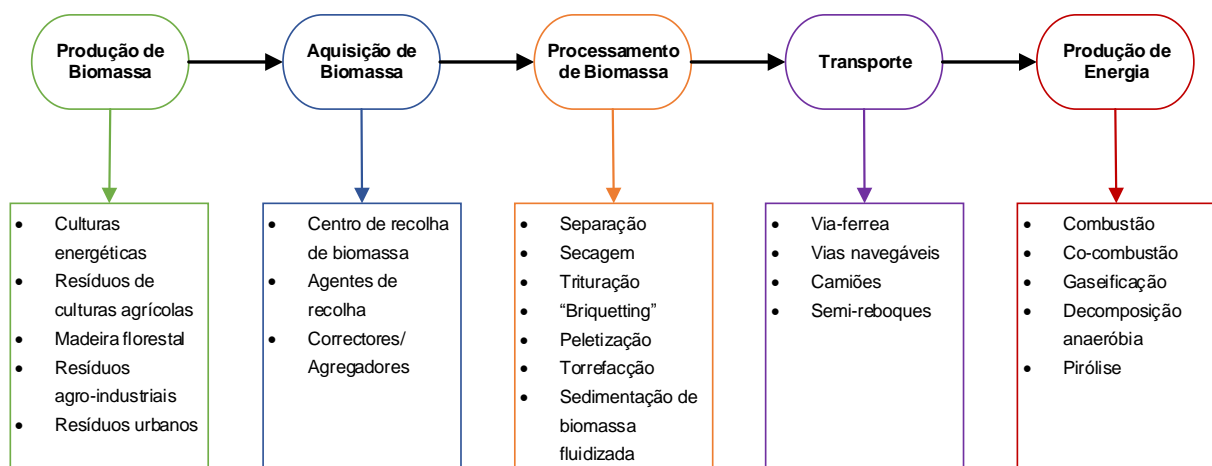


Figura 2.3 - Cadeia de valor da biomassa para produção de energia [20].

A aquisição da biomassa pode ser feita em centros de recolha de biomassa, por empresas designadas para esse efeito ou directamente no local de exploração. Em relação à recolha dos resíduos *in site* estes podem ser unicamente cortados e transportados ao seu destino ou podem ser transformados no local através de descasque, trituração e corte, obtendo-se assim resíduos com menores dimensões e mais limpos facilitando o seu transporte. Normalmente a biomassa é recolhida sobre a forma de toros de madeira, estilha e resíduos florestais que resultam da limpeza dos terrenos [21].

O processamento desta difere consoante o tipo de madeira com que se trabalha e a finalidade do produto. No caso das centrais a biomassa não existe restrição na forma da sua chegada, havendo apenas a necessidade de uma pré-secagem antes da sua utilização. Na produção de *pellets*, embora algumas unidades possuam operações de trituração, a maior parte prefere receber a matéria-prima sob a forma de estilha e/ou serrim. Há ainda os consumidores que preferem utilizar biocombustíveis derivados da biomassa, como os *pellets* e os briquetes [19].

O transporte dos vários tipos de biomassa e biocombustíveis pode ser feito em camiões e semi-reboques, comboios e navios preparados para o efeito.

O aproveitamento energético é feito, principalmente por processos de combustão. Na geração de electricidade, que tem lugar em centrais instaladas para o efeito, o aproveitamento energético pode ser feito por combustão, gaseificação e pirólise da biomassa. A geração de energia térmica, tanto a nível

industrial ou doméstico, pode ocorrer directamente da biomassa ou dos biocombustíveis de madeira, como queima em recuperadores de calor e caldeiras.

## 2.2. Pellets

Os *pellets* são um biocombustível sólido que resulta da compressão de biomassa, normalmente de serrim de madeira de Pinho, e uma vez que a lignina presente actua como aglomerante da matéria orgânica, trata-se de um produto 100% natural [22].

Apresenta aplicações térmicas, para produção de calor ou de água quente para consumo doméstico e/ou industrial, como padarias, aviários, pecuárias e complexos de piscinas, podendo ser queimados em recuperadores de calor e em caldeiras a *pellets*.

### 2.2.1. Propriedades

Os *pellets* apresentam uma forma cilíndrica, com um diâmetro de 6 a 8 milímetros e com um comprimento de 38 milímetros [23].

Ocasionalmente podem ser produzidas *pellets* de maior dimensão, quando maiores de 25 milímetros de diâmetro designam-se por “briquetes”

Em 2011 foi introduzida a norma Europeia EN 14961-2 [23] para *pellets* de madeira, de forma a generalizar as especificações do *pellets* no mercado Europeu. Esta norma é sugerida e não exigida, mas a maior parte dos produtores de equipamentos de queima baseiam-se nesta norma.

A norma EN 14961-2 baseia-se em três classes de qualidade de *pellets*, A1, A2 e B, implementadas pela ENplus. A classe A1 refere-se ao pellet *premium*, em que este apresenta maior poder calorífico e menor teor de cinzas, segue-se a classe A2 que embora seja bastante semelhante à classe anterior possui intervalos menos restritos. Por fim a classe B representa um *pellet* de menor qualidade, sendo normalmente a classe recomendada para consumo industrial.

Tabela 2.3 - Critérios de qualidade da ENplus [23].

Parâmetro	ENplus A1	ENplus A2	ENplus B
Comprimento (mm)	3,15 ≤ L ≤ 40 <sup>1)</sup>		
PCI (MJ/kg) <sup>5)</sup>	16,5 ≤ Q ≤ 19	16,3 ≤ Q ≤ 19	16,0 ≤ Q ≤ 19
Durabilidade mecânica (%)	≥ 97,5 <sup>4)</sup>		≥ 96,5 <sup>4)</sup>
Finos (%)	≤ 1 <sup>2)</sup>		
Teor cinzas (%)	≤ 0,7 <sup>3)</sup>	≤ 1,5 <sup>3)</sup>	≤ 3 <sup>3)</sup>
Teor de humidade (%)	≤ 10		
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 600		

<sup>1)</sup> 1% do total de *pellets* pode ser maior que 40mm, no máximo de 45mm.

<sup>2)</sup> Partículas < 3,15mm, finos no local de entrega.

<sup>3)</sup> Teor de cinza a 550°C.

<sup>4)</sup> Temperatura de deformação, amostra preparada a 815°C.

<sup>5)</sup> Base tal e qual.

## 2.2.2. Potencial dos *Pellets*

Os *pellets* são um biocombustível relativamente recente, produzidos a partir de uma fonte de energia renovável e endógena, contribuindo assim para a valorização de produtos florestal. O seu processo de fabrico pode integrar subprodutos resultantes da indústria transformadora da madeira, resíduos agrícolas e florestais, madeira de mobília desperdiçada (mobília antiga) e camas de animais, dependendo do tipo de *pellet* que se pretenda produzir.

Quando utilizados correctamente, apresentam uma combustão bastante eficiente e um elevado rendimento térmico com um custo associado inferior às restantes formas de energia convencionais. Por exemplo, os *pellets* apresentam uma maior estabilidade no preço que os combustíveis fósseis.

Os *pellets* representam uma excelente opção para combinar com a energia solar térmica na produção de águas quentes e de aquecimento de ambiente, contribuindo assim para a redução da dependência energética nacional relativamente aos combustíveis fósseis, como petróleo, gás e carvão [24]. Comparativamente com a biomassa florestal, os *pellets* apresentam uma maior densidade energética, fácil manuseamento e um armazenamento limpo, seguro e simples.

Devido a estas vantagens o seu mercado encontra-se em ascensão em todo o Mundo, com produção centralizada nos Estados Unidos e principalmente na Europa (REF). Ao contrário de Portugal existe um elevado consumo deste tipo de biocombustível na Europa, principalmente nos países com condições climáticas mais desfavoráveis. Portugal embora possua uma elevada capacidade de produção de *pellets* (Tabela 2.4), a maior parte é dedicada à exportação, devido ao pequeno consumo nacional [25].

**Tabela 2.4** – Unidades de produção de *pellets* instaladas em Portugal com as respectivas capacidades em 2014 [26].

<b>Empresa</b>	<b>Localidade</b>	<b>Capacidade (kton/ano)</b>
<b>Enermontijo</b>	Pegões	75
<b>Pellets Power (Gesnifu Group)</b>	Viseu	100
<b>Gesfino Group (Junglepower)</b>	Lousada	75
<b>Gesfino Group (Pellets Power 2)</b>	Setubal	90
<b>Grupo Visabeira Pinewell SA</b>	Arganil	150
<b>Novalenha (JAF Group)</b>	Oleiros	70
<b>Enerpellets</b>	Pedrogão Grande	125
<b>Stellep</b>	Chaves	60
<b>Lusoparque</b>	Oliveira de Azemeis	40
<b>Vimasol</b>	Celorico	10
<b>Melpellets</b>	Melgaço	10
<b>Pellets First</b>	Alcobaça	100
<b>Techpellet</b>	Famalicão	100
<b>Palser</b>	Sertã	50
<b>Omnipellets</b>	Leiria	25

A maior parte dos *pellets* comercializados são certificados e produzidos a partir de madeira de Pinho, que apresenta um ciclo de vida longo. Uma vez que as centrais termoelétricas a biomassa consomem este tipo de madeira, é possível criar alguma competitividade na procura de matéria-prima para ambas as unidades, pondo em risco a produção de *pellets* em Portugal. Estudos [25] defendem que a integração de uma unidade de *pellets* com uma central de produção de energia eléctrica pode ser uma solução para minimizar a competição na procura de matéria-prima.

### 2.2.3. Produção de *Pellets*

O processo de produção de *pellets* varia consoante o tipo de *pellet* que se pretende produzir e o tipo de matéria-prima que se utiliza.

A matéria-prima comum na produção dos *pellets* é a estilha e/ou serrim (serradura), mas existem várias unidades de produção em que esta é recebida sob a forma de toros ou aparas de madeira, como se encontra ilustrado na Figura 2.4.

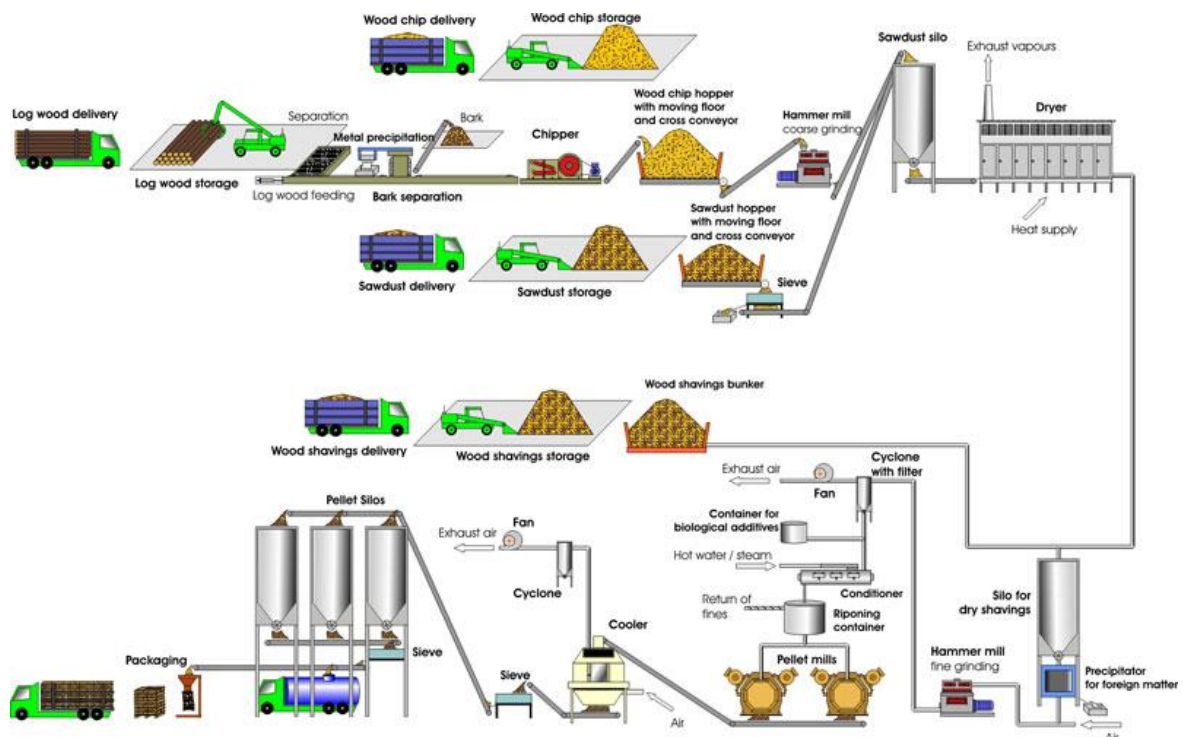


Figura 2.4 - Processo de produção de *pellets*. [27]

No caso da utilização da estilha, esta pode chegar à unidade já sob esta forma ou pode ser transformada na unidade. A transformação na unidade implica primeiro a separação da casca e a trituração do toro numa estilhadora. A casca resultante pode ser vendida ou utilizada como biomassa de queima no processo de secagem. O serrim e as aparas de madeira são recebidos e armazenados no parque de matérias-primas, como a estilha recebida e produzida [28].

Como a matéria-prima é composta maioritariamente por estilha, é necessário que esta seja moída, de forma a reduzir o seu tamanho e tornar o material mais homogéneo de forma a facilitar mais a operação de secagem. Embora, as dimensões de partículas desejadas sejam de 4mm para a produção de um *pellet* com 6mm de diâmetro, não se pode logo reduzir o material a estas dimensões, pois haveria uma elevada probabilidade do material se queimar durante o processo de secagem. Assim o processo de produção requer duas moagens, uma da estilha antes da secagem, e uma de todo o material após

a secagem. Ambas as moagens são realizadas em moinhos de martelos, atingindo a espessura e homogeneização pretendida, havendo em cada um deles um íman e uma armadilha de pedras, para minimizar o risco de incêndio causado por uma possível fagulha. O serrim verde obtido é armazenado num silo antes de prosseguir para a operação de secagem.

Como normalmente o serrim possui teores de humidade entre 40 e 50% e pretende-se que os *pellets* possuam um teor inferior a 10%, de forma a obter-se uma melhor eficiência energética realiza-se a secagem antes do processo de peletização. Nesta operação pode-se utilizar uma variada gama de equipamentos como [28]:

- **Secador de tubos:** em que não existe contacto entre a fonte de calor e o material, reduzindo contaminação do produto a secar. Utiliza como fonte de calor água ou um termofluído, que circula em contra-corrente e a troca de calor ocorre por contacto do material nos tubos;
- **Secador de tambor rotativo:** pode haver contacto directo ou indirecto entre o serrim e a fonte de calor, que pode ser gases quentes ou vapor, no caso indirecto. Estes podem ser compostos apenas por um corpo cilíndrico rotativo, embora se tenha vindo a preferir, o secador rotativo com três corpos cilíndricos concêntricos onde o material entra no corpo do meio, por acção do fluxo do ar quente, saindo no corpo externo. Em ambos os tipos há a presença de alhetas para aumentar a eficiência da secagem;
- **Secador de tapete:** consiste num tapete perfurado com o material depositado, com ar quente a passar pelo tapete e material.

Antes de prosseguir para a produção de *pellets* é preciso passar pelo condicionador. Aqui existe injeção de água quente ou vapor no serrim seco, de forma a activar a lignina para conferir as propriedades aglomerantes ao material, sendo o mais comum o uso de vapor.

O processo de peletização teve origem na indústria de alimentação animal, sendo os equipamentos bastante semelhantes entre si. Existem dois tipos de peletizadoras (prensas): as que usam matriz plana e as que usam matriz cilíndrica, sendo estes os mais comuns. Na utilização da matriz plana, esta encontra-se na horizontal o serrim encontra-se depositado sobre esta e um conjunto de rolos exerce pressão, forçando o material a passar pelos orifícios existentes na matriz. O princípio é semelhante no caso da matriz cilíndrica, com a diferença que os rolos se encontram no interior da matriz.

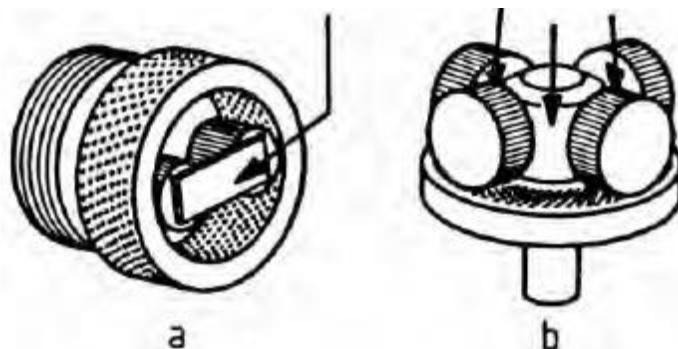


Figura 2.5 - a) Matriz cilíndrica e b) Matriz plana [28].

Quando se inicia ou pára o processo de peletização, para que não fique material nos orifícios da matriz é necessário adicionar serrim ou *pellets* com óleo vegetal, por exemplo, para quando a matriz arrefecer o material que se encontra nos orifícios caia [29].



Os *pellets* resultantes encontram-se quentes e maleáveis, prosseguindo para a etapa de arrefecimento. Este procedimento é realizado num arrefecedor a ar em contra corrente, em que os *pellets* se encontram dispostos sobre uma placa perfurada e o ar frio passa em contra corrente.

Antes de serem embalados os *pellets* são crivados para remoção de finos, que por sua vez retornam ao processo. Por fim, os *pellets* podem ser comercializados a granel, em “*Big-Bag’s*” ou em sacos de 15 kg, para consumo doméstico.

## 2.3. Centrais Termoeléctricas

As vantagens da substituição dos combustíveis fósseis por biomassa na produção de energia eléctrica, estão relacionadas com a diminuição da emissão de gases de estufa, os menores custos associados, o aproveitamento de resíduos sólidos e a oportunidade de desenvolvimento económico na localidade. O processo de produção de electricidade pode ser abordado em três etapas [30] [31]:

- **Alimentação da Biomassa:** a biomassa é recebida em várias formas: troncos, estilha, resíduos resultantes de limpezas florestais, e apresentam diferentes propriedades que influenciam a produção de energia (teor de humidade, poder calorífico, granulometria);
- **Conversão da Biomassa:** a conversão termoquímica é responsável pela produção de energia através de três processos possíveis: combustão, gaseificação e pirólise;
- **Tecnologias de Produção de Electricidades:** a energia térmica proveniente da biomassa pode ser usada para produção de electricidade usando uma gama de tecnologias disponíveis, comercialmente comprovadas, como por exemplo turbinas a vapor e a gás.

O tipo de biomassa é fundamental na eficiência do processo de produção, sendo os principais factores críticos o respectivo poder calorífico, o teor de cinzas e, principalmente, o teor de humidade. Existe um elevado número de centrais que possuem operações de pré-tratamento que consistem em secar o material.

Da conversão termoquímica, referida anteriormente, os processos possíveis consistem em:

- **Combustão:** A queima da biomassa numa caldeira, permite gerar vapor a alta pressão, que num ciclo de *Rankine* convencional permite eficiências eléctricas associadas a este ciclo entre 23 e 25%. O vapor resultante após a passagem na turbina é condensado a muito baixa temperatura, inviabilizando em geral a utilização deste calor [32];
- **Gaseificação:** Trata-se de uma combustão parcial da biomassa num ambiente praticamente anaeróbio, conduzindo à libertação de um gás, designado como *syngas*, em gaseificadores de leito fixo ou fluidizado. O *syngas* é assim utilizado directamente nas turbinas a gás para produção de electricidade, onde se consegue obter os máximos de eficiência eléctrica (40 a 50% [30]. A co-combustão também é uma possibilidade em gaseificadores, com a utilização de carvão e/ou biomassa;
- **Pirólise:** É a conversão da biomassa em fracções de carvão, bio-óleo e gases, por aquecimento na ausência de ar, podendo obter-se eficiências de conversão entre os 35 e 80%.

A combustão directa da biomassa para a geração de energia trata-se de uma tecnologia bem estabelecida e disponível, a nível comercial, capaz de produzir até 100 MW, sendo a mais utilizada no

Mundo. Os equipamentos mais importantes para a combustão numa central a biomassa são: a caldeira a biomassa e a turbina a vapor.

A eficiência de uma central termoelétrica está relacionada com a selecção do tipo de turbina e de fornalha e respectiva alimentação de biomassa, no arranjo de permutadores de calor para a recuperação de energia, na existência de pré-aquecimento do ar, nas emissões produzidas, e no controlo da temperatura dos gases de combustão.

### 2.3.1. Ciclo de Rankine

O funcionamento de uma central eléctrica a biomassa consiste na conversão de calor em trabalho mecânico, que por sua vez é convertido em electricidade, através de um ciclo de energia de vapor, em que o fluido de trabalho, geralmente água, é vaporizado e condensado alternadamente, sendo modelado como um Ciclo de Rankine (RC). Este ciclo é caracterizado por um circuito constituído por quatro processos interligados, como se encontra ilustrado na Figura 2.6 [33] [34]:

**Processo 1 – 2:** expansão do vapor que passa numa turbina, perdendo pressão e temperatura ao produzir trabalho;

**Processo 2 – 3:** troca de calor entre o vapor e uma fonte fria externa, a pressão constante, provocando a sua condensação para água líquida saturada;

**Processo 3 – 4:** compressão da água saturada por passagem numa bomba, provocando aumento de pressão e temperatura;

**Processo 4 – 1:** troca de calor com uma fonte quente externa, a pressão constante, provocando a passagem da água saturada a vapor saturado seco.

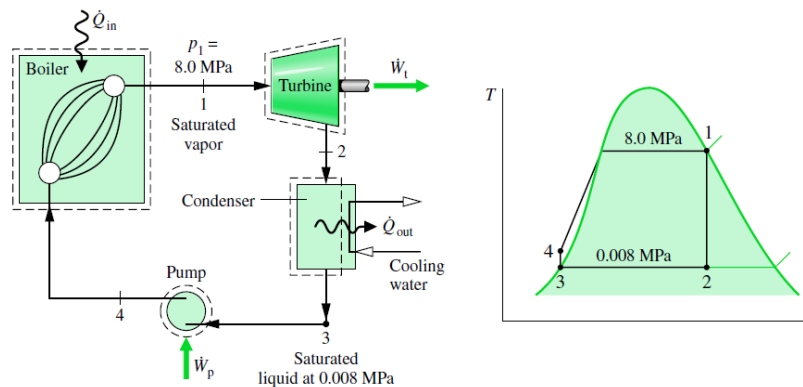


Figura 2.6 - Ciclo de Rankine e respectivo diagrama T-s [33].

A eficiência do RC, que corresponde à medição da energia imposta ao fluido de trabalho na caldeira e que é convertida para a produção de trabalho, depende das propriedades termodinâmicas do fluido e é limitado pelo seu calor de vaporização à medida que a temperatura é ajustada pela fonte fria externa.

Esta eficiência, normalmente é inferior a 40%, podendo chegar até 60%, utilizando ciclos de reaquecimento, ciclos de regeneração ou ciclos binários.

### 2.3.2. Ciclo de Reaquecimento

Consegue obter-se uma eficiência térmica maior porque este novo ciclo tem uma temperatura média mais elevada do que um CR convencional.

Através da aplicação de um ciclo de reaquecimento e a utilização de uma turbina de duas fases a eficiência de todo o sistema irá aumentar, Figura 2.7. A turbina de duas fases consiste em duas turbinas separadas, uma funciona a alta pressão e outra que trabalha com vapor de baixa pressão, que é reaquecido entre elas, a fim de aumentar a temperatura e manter a pressão constante a partir da saída da primeira para a entrada da segunda. Nesta alternativa é possível tirar melhor partido da elevada pressão na caldeira e evitar o vapor de baixa pressão com reduzido poder energético. A eficiência global deve ter em conta ser o rendimento do trabalho das turbinas de dois estágios e a adição total de calor que ocorre no processo de reaquecimento e sobreaquecimento [33].

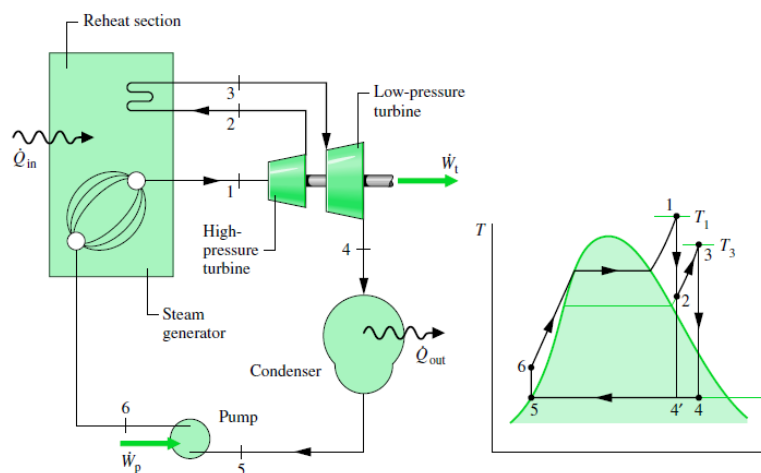


Figura 2.7 - Ciclo de Reaquecimento com duas turbinas e Diagrama T-s [33]

Outra forma de aumentar a eficiência é através da aplicação de um ciclo supercrítico, no entanto, este ciclo possui algumas limitações devido às propriedades metalúrgicas dos materiais das turbinas e dos geradores de vapor. O princípio deste ciclo consiste simplesmente em trabalhar nas condições correspondentes ao ponto crítico do fluido de trabalho, em que o calor de vaporização atinge o seu valor máximo.

### 2.3.3. Cogeração: Produção Combinada de Calor e Electricidade (CHP)

A produção combinada de calor e electricidade (CHP), também conhecida como cogeração é a comercialização simultânea, a partir de uma fonte de energia, e com maiores eficiências globais, de electricidade e calor que é utilizado pela indústria ou por sistemas de aquecimento urbano, através de vapor e/ou águas quentes, Figura 2.8. A viabilidade de centrais de cogeração a biomassa é geralmente regida pelo preço atribuído à electricidade assim produzida, bem como à disponibilidade e custo da matéria-prima.

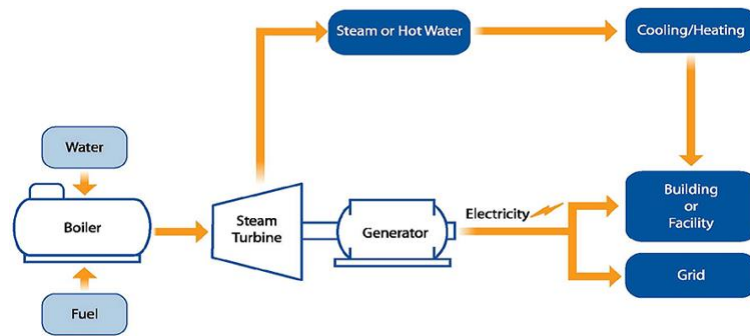


Figura 2.8 – Esquema de uma unidade de cogeração integrada [35].

A cogeração permite o fornecimento de energia a vários tipos de consumidores, com os seguintes benefícios:

- Aumento da eficiência de conversão de energia;
- Redução de global de emissões para o ambiente, em particular de CO<sub>2</sub>, um dos principais contribuintes para o efeito de estufa;
- Grandes economias de custos, proporcionando competitividade adicional para os utilizadores industriais e comerciais, e que oferecem calor acessível para usuários domésticos;
- Uma oportunidade de evoluir para formas mais descentralizadas de geração de electricidade, onde as unidades são projetadas para atender as necessidades dos consumidores locais, proporcionando alta eficiência, evitando perdas de transmissão e aumentando a flexibilidade de utilização do sistema.

#### 2.3.4. Co-Combustão

O processo de co-combustão de biomassa com carvão em grandes centrais tem vindo a ser desenvolvido na Europa, produzindo-se actualmente cerca de 45GW através desta tecnologia. A vantagem de co-combustão de biomassa é o aumento da eficiência eléctrica, face a instalações de combustão de biomassa dedicadas.

Existem três tecnologias possíveis para co-combustão (Figura 2.9) [32]:

- **Co-combustão Directa:** em que a biomassa e o carvão são alimentados a uma caldeira com queimadores separados ou partilhados;
- **Co-combustão Indirecta:** em que a biomassa sólida é convertida em gás que é queimado juntamente com o carvão;
- **Co-combustão paralela:** em que a biomassa é queimada numa caldeira e o vapor resultante é alimentado à central a carvão.

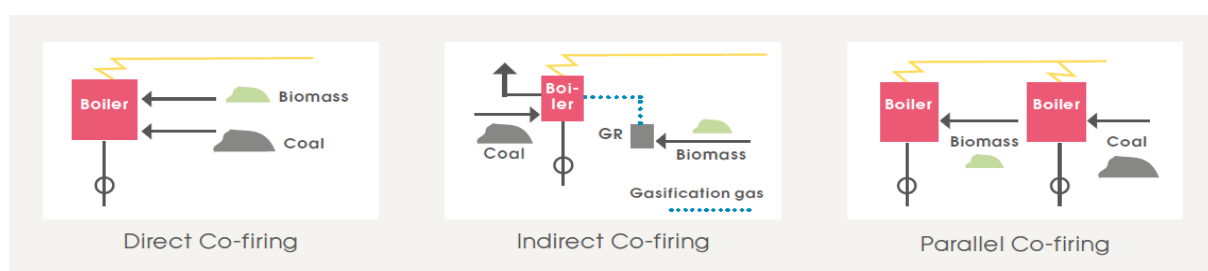


Figura 2.9 – Esquemas de Co-combustão directa, indirecta e paralela [32].

### 3. GRUPO MARTOS

O Grupo Martos, sediado na freguesia de Colmeias, em Leiria, é uma referência nacional no mercado de madeiras, paletes e subprodutos. Com um historial de actividade de cerca de 34 anos, a sua experiência adquirida ao longo do tempo aliada ao investimento em tecnologias de ponta, faz com que este Grupo se afirme como uma empresa moderna, sustentável, bem como ambiental e socialmente responsável (recursos florestais) [36].

#### 3.1.A História

Fundada em 1981 a Martos & Companhia, Lda., iniciou a sua actividade nas instalações da firma Carpalhoso & Filhos, Lda. em Eira Velha, Colmeias. Passou a ter as suas próprias instalações, seis anos mais tarde, no Parque Industrial das Areias, onde se encontram actualmente. Na década de 90 a empresa sofreu diversas ampliações e automatizações nas linhas de produção de madeira serrada para construção, carpintaria e paletes, utilizando sempre como matéria-prima a madeira de Pinho. Com o objectivo de gerir e valorizar os recursos florestais, em 1998 constituiu-se a empresa Colpinus-Madeira e Derivados, Lda., dedicando-se à aquisição, corte, rechega, arroteamento e reflorestação das áreas intervencionadas. Em 1999, de forma a alargar a gama de produtos, venda directa a retalho e a prestar uma resposta mais célere aos pedidos dos clientes, a Martos criou uma delegação em Pinhal Novo (Palmela).

Para efectuar o transporte inter-empresas de matérias-primas e produtos constituiu-se, em 2002, a Martos Frota – Transporte de Mercadorias, Lda., sendo em 2004, criada a Nelsimar – Valorização de Madeira, Lda, tratando-se de uma unidade que tenta dar o máximo de valor acrescentado na madeira de Pinho bem como execução de obras, pérgulas, passadiços, mobiliário de jardim e prestação de serviços para empresas como o AKI.

De forma a colaborar no combate ao Nemátodo de madeira de Pinho, em 2009, o Grupo Martos passou a efectuar o Choque Térmico e começou a produzir pavimentos segundo a norma EN14342 com a Marcação CE nos seus produtos [36].

Em 2010, a Martos entrou no mercado dos *pellets*, comprando e vendendo *pellets* fabricados por terceiros. Devido à elevada expansão deste mercado, o Grupo decidiu investir na sua própria unidade de produção de *pellets* certificados, integrando os subprodutos resultantes das restantes unidades, nascendo assim, em 2015, a Omnipellets. Apresenta-se na Figura 3.1 a estrutura actual do Grupo Martos.

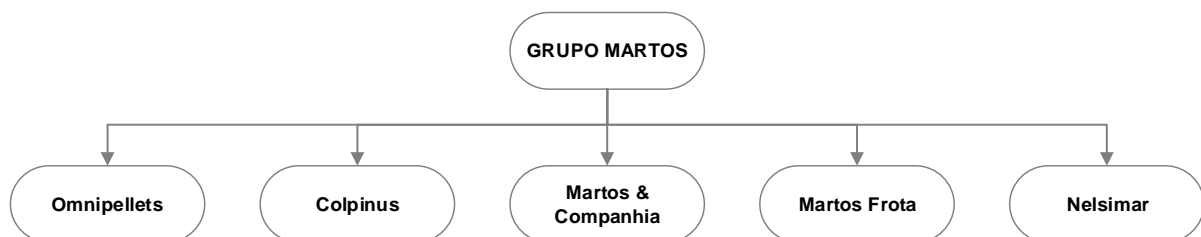


Figura 3.1 - Empresas do Grupo Martos.

### 3.2. Descrição das Várias Unidades

O Grupo Martos tem como principal interesse a produção de paletes (representam cerca de 40% das suas receitas), a valorização de madeira e a produção de *pellets* (maioritariamente para exportação).

A principal matéria-prima utilizada nas suas unidades de produção é a madeira de Pinho, excepto quando existem pedidos específicos da parte do cliente. A utilização privilegiada deste tipo de material deve-se a vários factores: é um dos tipos de madeira mais abundantes no país, a seguir ao Eucalipto, trata-se de uma madeira fácil de trabalhar, possui uma boa resistência mecânica e uma vez tratada termicamente, apresenta um longo período de vida.

Na Figura 3.2 encontra-se representado um esquema das várias zonas de produção do Grupo Martos, a Valorização de Resíduos Florestais (VRF) (designação utilizada apenas no âmbito deste trabalho), a Serração, as Paletes, a Nelsimar e a Omnipellets.



Figura 3.2 – Esquema das zonas de produção do Grupo Martos.

O material recolhido pela Martos Frota nos terrenos de exploração florestal dá entrada nas instalações do Grupo Martos na VRF. O material resultante da recolha consiste em toros de madeira de Pinho, rolaria fina (trancas de árvores), pés das árvores e **Biomassa de Resíduos Florestais (BRF)** (Figura 3.3) que resultam da limpeza dos terrenos, rica em folhagens e bicadas. É comum que apareça na BRF outros tipos de madeira juntamente com a madeira de Pinho, tais como o Eucalipto, o Choupo e a Faia.

O material recolhido chega e é separado consoante a sua finalidade. Os toros de madeira seguem para a Serração e o restante material, rolaria fina, pés das árvores e a BRF, permanecem na zona VRF. Aqui, a BRF é apenas armazenada, não sofrendo qualquer transformação.

A rolaria fina, por apresentar dimensões demasiado pequenas, e os pés das árvores, por conterem grandes quantidades de resina e um grande número de nós, não apresentam os requisitos necessários para serem processados na Serração. Sendo assim, a rolaria fina é transformada em estilha, designada internamente por **estilha com casca** (Figura 3.4). A estilhadora, apenas dedicada ao processamento da rolaria fina, possui dois crivos: um crivo que se encontra adjacente à alimentação, que separa o excesso de terra e resíduos presentes na madeira, e outro após alimentação, que separa os finos presentes na estilha resultante, designados por **finos de estilha** (Figura 3.5). O material resultante do primeiro crivo é armazenado juntamente com a BRF e são vendidos como biomassa de queima a centrais Termoeléctricas, como a Celbi®, da Figueira-da-Foz. Os finos de estilha são vendidos também

para queima, sendo uma pequena proporção utilizada para alimentação de uma caldeira a biomassa existente no processo de tratamento, que será descrito mais à frente. A estilha com casca é armazenada juntamente com a estilha sem casca, e é vendida principalmente para produção de placas de *Medium Density Fiberboard* (MDF) [37] ou *pellets*, podendo ser também utilizada para queima com fim de produção de energia térmica. Na Figura 3.6 apresenta-se o esquema desta unidade.



Figura 3.3 – Biomassa de Resíduos Florestais (BRF)



Figura 3.4 – Estilha com casca.



Figura 3.5 – Finos de Estilha.

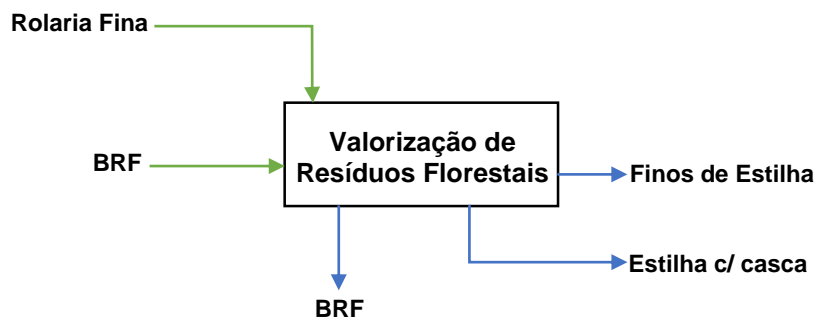


Figura 3.6 – Esquema simplificado da zona de Valorização de Resíduos.

Na Serração os toros de madeira, provenientes da VRF, dão entrada na operação de descasque, em que a casca resultante passa por dois crivos: um para a separação dos **finos de casca** (Figura 3.7) e outro para a separação da casca de dimensões maiores. Os finos de estilha são vendidos como biomassa de queima e a **casca** (Figura 3.8) é vendida para fins de jardinagem e decoração exterior.



Figura 3.7 – Finos de Casca.



Figura 3.8 - Casca.

Os toros limpos são transportados até à zona de corte na Serração, onde existem duas linhas de corte: uma para toros com diâmetros superiores a 22 centímetros e outra para diâmetros inferiores. Em ambas as linhas a madeira é trabalhada para diferentes fins consoante o seu tamanho e a sua qualidade. A madeira com maiores dimensões, boa resistência física e esteticamente mais apresentável é encaminhada para a Nelsimar, depois de sofrer, normalmente, tratamento térmico na zona das Paletes. A restante madeira é encaminhada para a zona das Paletes.



A zona das Paletes consiste na linha de produção das paletes e no tratamento de choque térmico das madeiras. A linha das paletes trata-se de uma operação simples e automatizada. O tratamento de choque térmico é realizado de acordo com a norma ISPM-15 [38] e consiste em deixar o material (paletes e/ou réguas de madeira) dentro de estufas térmicas durante um certo período de tempo, consoante a finalidade do material a tratar, de forma a eliminar o Nemátodo. O Nemátodo é um verme microscópico que quando alojado na árvore de Pinho, provoca a diminuição da produção de resina e a secura da árvore, tornando os seus ramos mais quebradiços [39]. Como este continua vivo na madeira de Pinho, mesmo após o corte da árvore, de forma a eliminá-lo e a impedir a sua contaminação, é exigido internacionalmente que as paletes que circulem fora de Portugal sejam sujeitas a um tratamento de choque térmico, sendo este um tratamento simples e eficaz. As estufas utilizadas no tratamento funcionam como secadores de madeira, onde uma caldeira a biomassa é responsável pelo aquecimento da água, que vai aquecer o ar dentro das estufas. A caldeira consome como biomassa de queima finos de estilha, provenientes da zona de VRF. Após o tratamento térmico, as paletes são carimbadas e identificadas com o código de identificação do produtor, para que possam ser utilizadas internacionalmente, sendo vendidas para diversos sectores industriais.

Das operações de corte e a laminagem da madeira, nas zonas da Serração e das Paletes, resultam o **serrim** (Figura 3.9) e a **estilha sem casca** (Figura 3.10). A estilha é o produto da trituração de fragmentos obtidos na laminagem dos toros e réguas numa estilhadora dedicada, e é designada como estilha sem casca. Esta é armazenada juntamente com a estilha com casca, sendo ambas utilizadas como matéria-prima na Omnipellets ou vendidas para produção de *pellets*, placas de MDF's e para aquecimento. Além da utilização do serrim na Omnipellets, este também pode ser vendido para produção de *pellets*, cama de animais e aquecimento. Dos cortes de réguas e tábuas de madeira resultam também os **retestos** (Figura 3.12), que consistem em bocados de madeira densos, com dimensões variadas. Este tipo de material poderia ser utilizado na produção de *pellets*, mas como as estilhadoras existentes na Martos não os conseguem processar, são vendidos a empresas como a Lusofinsa, para produção de placas de MDF. Na Figura 3.11 encontra-se o esquema da Serração e das Paletes.



Figura 3.9 - Serrim (serradura).



Figura 3.10 - Estilha sem casca.



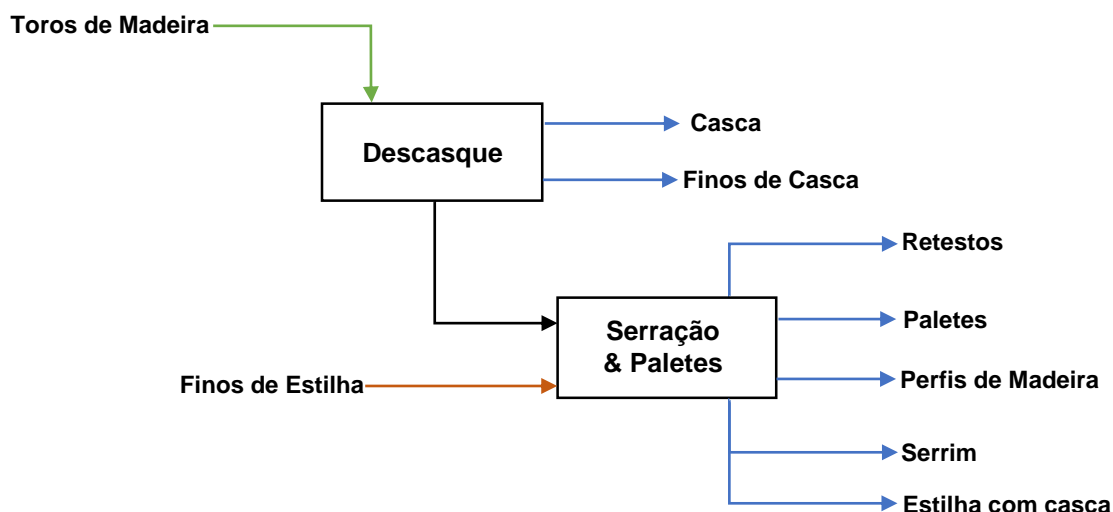


Figura 3.11 - Esquema das unidades Serração e Paletes.

A Nelsimar é uma unidade onde a madeira proveniente da Serração é recebida, trabalhada e tratada em autoclave, produzindo perfis de madeira como: passadiços, mobília de exterior e decks. Deste processo de valorização da madeira resultam subprodutos como os retestos e as **aparas de madeira** (Figura 3.13). Os retestos são semelhantes aos referidos anteriormente, à excepção de que estes podem possuir colas ou produtos de tratamentos que a madeira possa ter sofrido, mas são vendidos, como os da Serração, para produção de placas de MDF. As aparas de madeira tratam-se de pequenas lascas de madeira, resultantes da limagem da madeira. Como possuem um grande valor comercial estas são vendidas a clientes locais, para a sua utilização em camas de animais, uma vez que se trata de um material seco, macio e sem odores que possam prejudicar os animais. Mas também poderiam ser utilizadas como matéria-prima na produção de *pellets*. Apresenta-se na Figura 3.14 um breve esquema desta unidade.



Figura 3.12 - Retestos de Madeira.



Figura 3.13 - Aparas de Madeira.

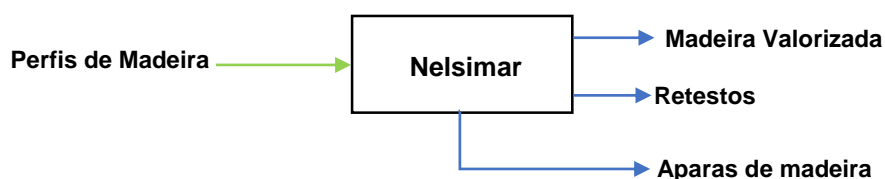


Figura 3.14 - Esquema da unidade Nelsimar.

A Omnipellets é a unidade de produção de **pellets** (Figura 3.15) e utiliza subprodutos resultantes das restantes unidades do Grupo, como serrim e estilha utilizados como matérias-primas e BRF como biomassa de queima da fornalha a biomassa. O seu processo de produção será abordado em detalhe no Capítulo 4. Na Figura 3.16 encontra-se o esquema desta unidade.



Figura 3.15 - Pellets de madeira.

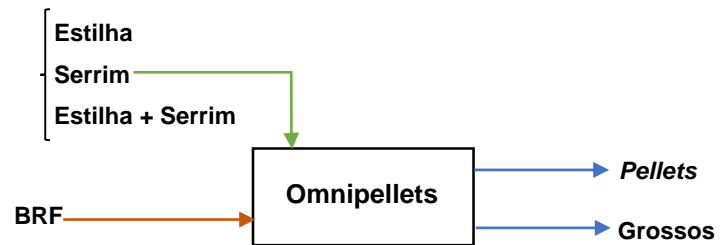


Figura 3.16 - Esquema da unidade Omnipellets.

## 4. ESTUDO DOS PROCESSOS INDUSTRIAIS DO GRUPO MARTOS

Neste capítulo é apresentado o processo de produção de *pellets* da nova unidade do Grupo Martos, bem como uma descrição da fase de arranque e os problemas ocorridos. Analisar-se-á ainda a produção e o consumo de biomassa dentro do Grupo, bem como o respectivo consumo energético.

### 4.1. Omnipellets

A Omnipellets é a unidade responsável pela produção dos *pellets* que arrancou recentemente pelo que se encontra actualmente ainda em fase de estabilização do seu processo de produção em contínuo. Neste subcapítulo será abordado o processo de produção, os equipamentos utilizados e alguns dos problemas observados durante a fase de arranque. Na Figura 4.1 encontra-se uma representação simples do processo de produção.

#### 4.1.1. Processo de Produção

A matéria-prima proveniente do Grupo Martos e/ou de outros fornecedores, é recebida no parque coberto de matérias-primas. Aí com o auxílio de uma pá carregadora, o operador faz uma mistura de 3 pás de estilha com 1 pá de serrim, e depois esta mistura entra na zona de alimentação dando início ao processo. A alimentação é feita por um conjunto de três pisos móveis, do tipo vai-vem, e por uma sequência de tapetes que transportam o material até ao **crivo excêntrico**. Neste existe separação do material em três fracções com granulometrias diferentes: os grossos, que consistem no material de maiores dimensões que fica retido no topo do crivo; a estilha que possui dimensões menores e o serrim que é recolhido na base do crivo. Os grossos por movimento do crivo caem num contentor móvel que se encontra à saída da primeira malha e seguem para a unidade VRF. A estilha, que sai da segunda malha do crivo, alimenta um moinho de martelos (**moinho de verdes**), de forma a obter-se um material mais homogéneo, em que este após uma sequência de tapetes dá entrada no **depósito de verdes**, juntamente com o **serrim verde** recolhido na base do crivo. Sobre o tapete de alimentação ao moinho de martelos encontra-se um íman suspenso, para captura de eventuais partículas de metal presentes na estilha. O material homogéneo, que possui humidades entre os 40 e 55%, consoante a altura do ano, é sujeito a uma secagem num secador de tambor rotativo de três corpos concêntricos.

O **secador** rotativo utiliza como fonte de calor, gases quentes provenientes de uma **fornalha** a biomassa. A biomassa de queima, composta por BRF, encontra-se no parque de matérias-primas e é carregada pelo operador, com o auxílio de uma pá carregadora, ao conjunto de pisos móveis, que juntamente com uma sequência de tapetes cobertos, são responsáveis pela alimentação da fornalha. Da combustão resultam gases quentes com temperaturas entre os 650 e 850°C. Devido à elevada temperatura, estes passam por uma **câmara de mistura** onde são arrefecidos directamente com ventilação de ar fresco, de forma a atingir temperaturas entre os 300 e 350°C, antes de atravessarem um conjunto de dois separadores ciclónicos de cinzas voláteis, antes de darem entrada no secador.

O material abandona o depósito de verdes por acção de dois pisos móveis e por transporte em tapete, dando entrada no alimentador do secador. Neste trajecto recolhe-se amostras de serrim verde, de forma a controlar as condições operatórias do secador. Para que a alimentação do material ao secador seja homogénea, o material é doseado por uma válvula rotativa. Os gases quentes encontram-

se com o produto a secar na tubagem prévia ao secador, dão entrada no corpo do meio e saem no corpo externo. O fluxo dos gases com o serrim verde é feito por acção do ventilador existente no fim da linha de secagem, que tem como função de garantir a presença de fluxo de ar dentro do secador. Dentro do secador a secagem é promovida pelo contacto com os gases quentes, pelo movimento do secador e pela presença das alhetas presentes nos três corpos concêntricos que promove a turbulência do fluxo de ar. Os gases abandonam o secador, arrastando o **serrim seco**. O material seco cai numa sequência de *redler's* que fazem o transporte até ao **depósito de secos**. Os gases húmidos antes de serem expulsos para atmosfera pela chaminé, passam por uma bateria de ciclones para separação de eventuais partículas de material seco presentes, sendo estas recolhidas na sequência de *redler's*. Devido ao elevado risco de incêndio, por se tratar de um produto altamente inflamável a elevadas temperaturas, além da instalação de um sistema de protecção de incêndio no secador e em todo o trajecto até ao depósito de secos, existe uma raseira de emergência que abre quando o sistema de detecção e protecção dispara, de forma a que o produto em chamas não caia no depósito de secos.

É necessário um controlo rigoroso da humidade do serrim que entra no depósito de secos, pois este deve ter uma humidade entre 8 a 12%.

O material do depósito de secos é doseado por pisos móveis e alimentado por um tapete, com um ímã suspenso, a um moinho a martelos (**moinho de secos**), de forma a obter um produto ainda mais homogéneo e com uma granulometria mais reduzida. Como nesta fase do processo o serrim seco é muito leve e fino, existe um elevado risco de incêndio se houver uma faísca dentro do moinho, o que obriga à existência de um sistema de protecção contra incêndios. O material resultante da moagem é transportado por sucção para um pequeno depósito intermédio, designado por **Pulmão**. Também aqui existe recolha de amostras para medição da humidade, de forma a tentar controlar a quantidade de água necessária a injectar na **prensa** (peletizadora). Deste tanque o produto é enviado para a operação de peletização, onde através de sequência de *redler's* e elevadores, segue para uma tremonha e é alimentado ao condicionador, onde existe injeção de água, consoante a necessidade. Após a injeção de água o serrim dá entrada na prensa e fica alojado entre os rolos e a matriz. Os rolos exercem pressão de forma a expelir o material pelos orifícios da matriz formando os *pellets*. Nesta etapa é importante observar os *pellets* com alguma frequência para ver se não têm muita água. Os *pellets* que abandonam a prensa encontram-se quentes e maleáveis e são transportados por uma sequência de elevadores até um arrefecedor. No arrefecedor o produto é disposto numa placa perfurada, por onde passa ar frio no sentido de baixo para cima. Após um determinado tempo de permanência, o **arrefecedor** vai fazendo pequenas descargas. Os *pellets* passam por dois crivos para remoção dos finos e seguem para a etapa de **ensacamento**. Os finos removidos na base dos crivos retornam ao processo por aspiração, dando entrada no processo no Pulmão.

Os *pellets* crivados são ensacados em sacos de 15 kg, ou em “*Big-Bags*” de 850 kg ou armazenados em silos. O ensacamento em sacos é feito por uma ensacadora, seguindo de uma paletizadora responsável de fazer paletes com 65 sacos. Os “*Big-Bags*” são cheios numa pequena estrutura metálica que os suporta. Quando estes e/ou as paletes se encontram completos, são transportados com auxílio de um empilhador para a zona de armazenamento de *stock*. O material que

é guardado em silos, para venda a granel, é transportado por um conjunto de elevadores até ao exterior do edifício, onde estes se encontram.

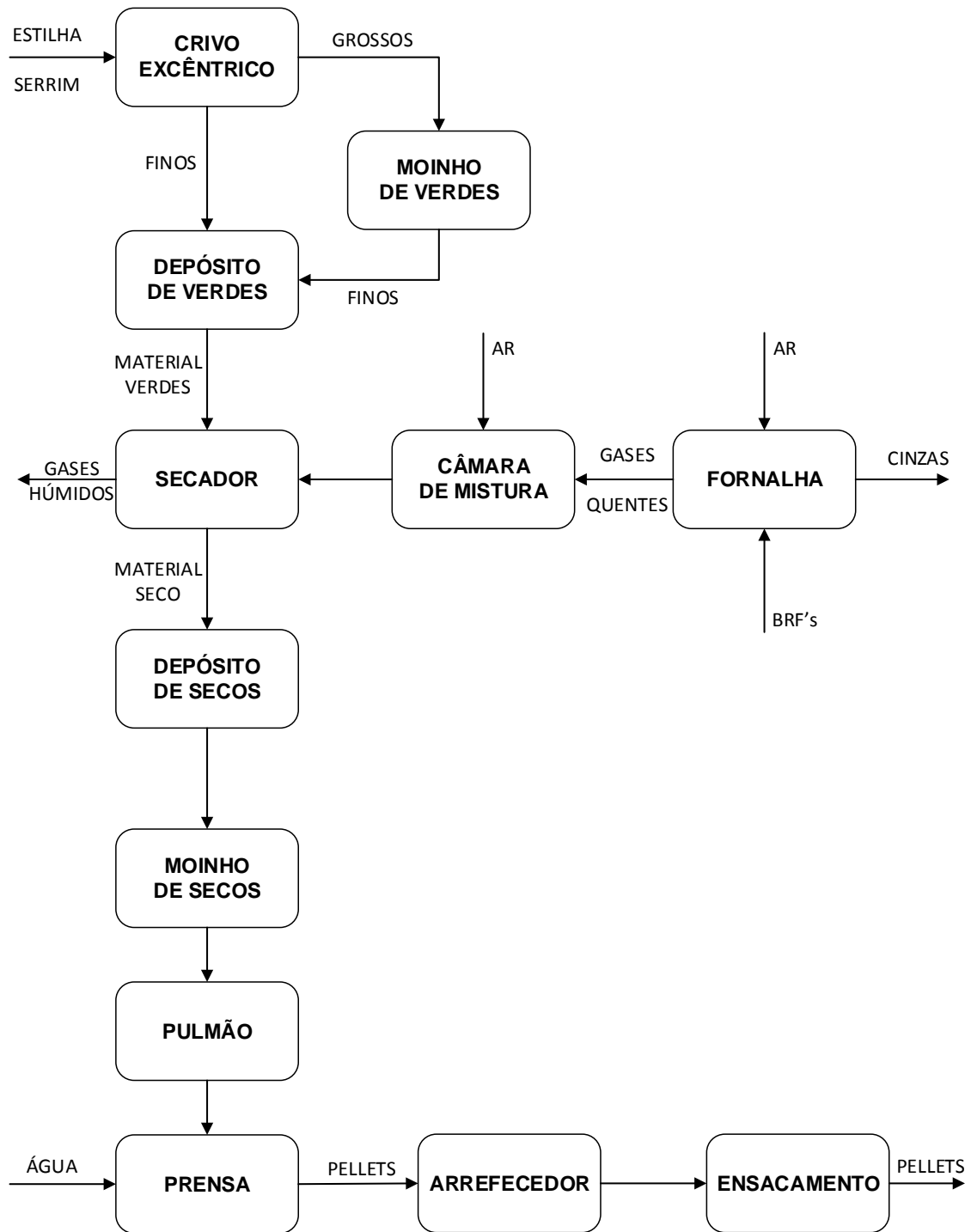


Figura 4.1 - Diagrama de blocos simplificado do processo de produção de pellets.

## 4.1.2. Equipamentos

De seguida apresenta-se o funcionamento detalhado dos equipamentos principais do processo de produção, como a **fornalha**, o **secador** e a **prensa**, bem como algumas das suas características.

### 4.1.2.1. Fornalha

A fornalha é responsável pela produção dos gases quentes utilizados como fonte de calor no secador. Trata-se de uma fornalha de grelha móvel, marca *Flucal* com uma potência térmica de 4MW, com grelha inclinada e seccionada e alimentada a biomassa, como a BRF proveniente do Grupo Martos.

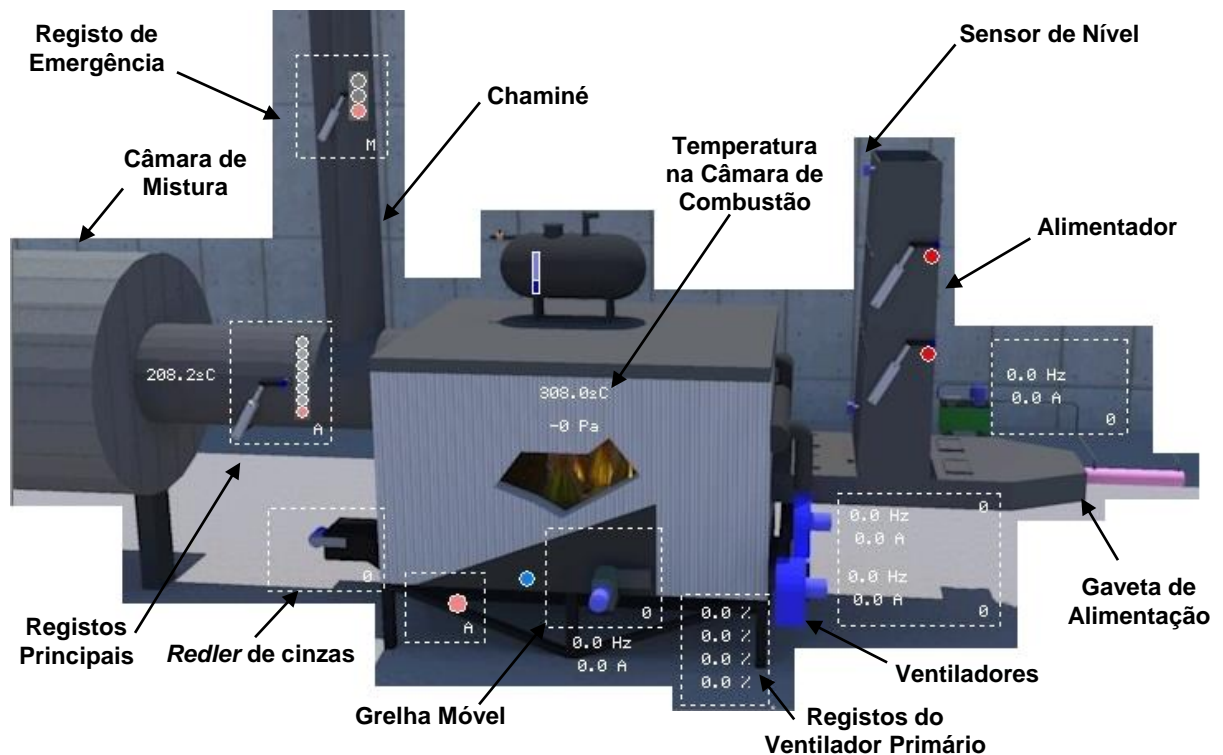


Figura 4.2 – Esquema da Fornalha.

O funcionamento da fornalha é monitorizado através de um menu de supervisão representado na Figura 4.2. A biomassa dá entrada no topo do **alimentador**, onde existe um **sensor de nível**, que activa um conjunto de pisos móveis e uma sequência de tapetes que transportam a biomassa de queima para a alimentação da fornalha, após a passagem por duas comportas hidráulicas que abrem alternadamente, de forma a não haver contacto directo entre a câmara de combustão e o exterior. O material de queima é empurrado pelo arrastador hidráulico para a câmara de combustão. A fornalha encontra-se dividida em quatro zonas: secagem, gaseificação, combustão do carbono e pós combustão. Em cada zona existe uma entrada de ar primário independente, onde quatro clapets com servomotores regulam a entrada de ar primário, actuando também como fecho de entrada de ar em caso de emergência. Além do ar primário, existe também um ventilador de ar secundário regulável, para controlo e arrefecimento da chama. As características nominais da alimentação do ar primário e secundário encontram-se apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Condições operatórias nominais da fornalha a biomassa.

<b>Ar Primário</b>	
Nº Entradas	4
$F_{V\ Ar}$ (Nm <sup>3</sup> /h)	6000
$P_{Ventilador}$ (Pa)	600
<b>Ar Secundário</b>	
Nº Entradas	1
$F_{V\ Ar}$ (Nm <sup>3</sup> /h)	5470
$P_{Ventilador}$ (Pa)	5500

A fornalha possui ainda um sistema automático de extracção de cinzas (via húmida), equipado com quatro tremonhas de descarga de cinzas colocados na parte inferior da **grelha móvel**, com controlo por bóia do nível de água e **redler** de extração. A fornalha faz ligação com a câmara de mistura por ajuste dos **registos principais**, controlando manualmente a sua abertura. Existe também uma **chaminé** de emergência, que em funcionamento automático actuará em caso de sobrepressão na câmara de combustão, em caso de carga térmica elevada e/ou em caso de falha de energia eléctrica.

No início do funcionamento da fornalha é conveniente que os registos principais estejam fechados e o **registo de emergência aberto**, de forma a não sobreaquecer a linha de secagem. Este é fechado quando se estabelece a ligação da fornalha à linha de secagem

O arranque da fornalha tem que ser feito em manual e o operador tem como função controlar todas as variáveis para que a chama ganhe força e se mantenha estável. O funcionamento passa a automático, quando a temperatura na câmara de combustão atingir os 450°C e se mantiver acima deste valor mais de 1000 segundos. Nas Tabela 4.2 e Tabela 4.3 encontram-se resumidas as variáveis a observar e a controlar durante o seu funcionamento em manual e em automático. O operador do equipamento terá que monitorizar constantemente as variáveis a observar, seja durante o funcionamento manual ou automático [40].

**Tabela 4.2** - Variáveis a observar no controlo da fornalha.

	<b>O que Observar</b>
Características de Queima	Se a chama tem “força”
	Se a queima é uniforme ao longo da grelha
Cinzas	Se saí muito matéria por queimar juntamente com as cinzas
Temperatura	Se atingiu a temperatura do <i>Set-Point</i> (800°C)
	Se a temperatura se encontra a diminuir ou a aumentar

**Tabela 4.3** - Variáveis a manipular no controlo da fornalha.

Variáveis a controlar	Controlo
	Automático
Velocidade de alimentação de biomassa	Função da temperatura do <i>Set-Point</i> na câmara de combustão
Velocidade da grelha	Valor imposto pelo operador
Tempo de paragem da grelha	Valor imposto pelo operador
Ventilador de Ar Primário	Em função da frequência da alimentação de biomassa
Entradas de Ar Primário	Valores impostos pelo operador
Ventilador de Ar Secundário	Em função da frequência da alimentação de biomassa

#### 4.1.2.2. Secador

Um secador de tambor rotativo de corpos concêntricos da Turbo-Nor (Figura 4.3 e Figura 4.4) é utilizado para remoção da humidade da matéria-prima, utilizando gases quentes como fonte de calor. Na Tabela 4.4 apresenta as características principais do secador.

**Tabela 4.4** – Características nominais do Secador.

<b>L (m)</b>	15,0
<b>D<sub>ext</sub> (m)</b>	2,8

A linha de secagem é composta por:

- uma câmara de mistura
- dois separadores ciclónicos de cinzas e fagulhas
- um secador de tambor rotativo de multi-passagem
- uma bateria de três separadores ciclónicos de material seco
- um ventilador centrífugo
- uma chaminé para escoamento dos efluentes gasosos.





Figura 4.3 – Linha de secagem.



Figura 4.4 – Secador rotativo da Turbo-Nor.

O funcionamento da linha de secagem é controlado através de um menu de supervisão (Figura 4.5). Os **gases** provenientes da fornalha são misturados com ar fresco para atingir uma determinada temperatura à entrada do secador. No Verão, a temperatura ideal encontra-se entre os 300 e 350°C, acima deste intervalo um conjunto grelhas abrir-se-á para entrar ar fresco e promover o arrefecimento dos gases na **câmara de mistura**.

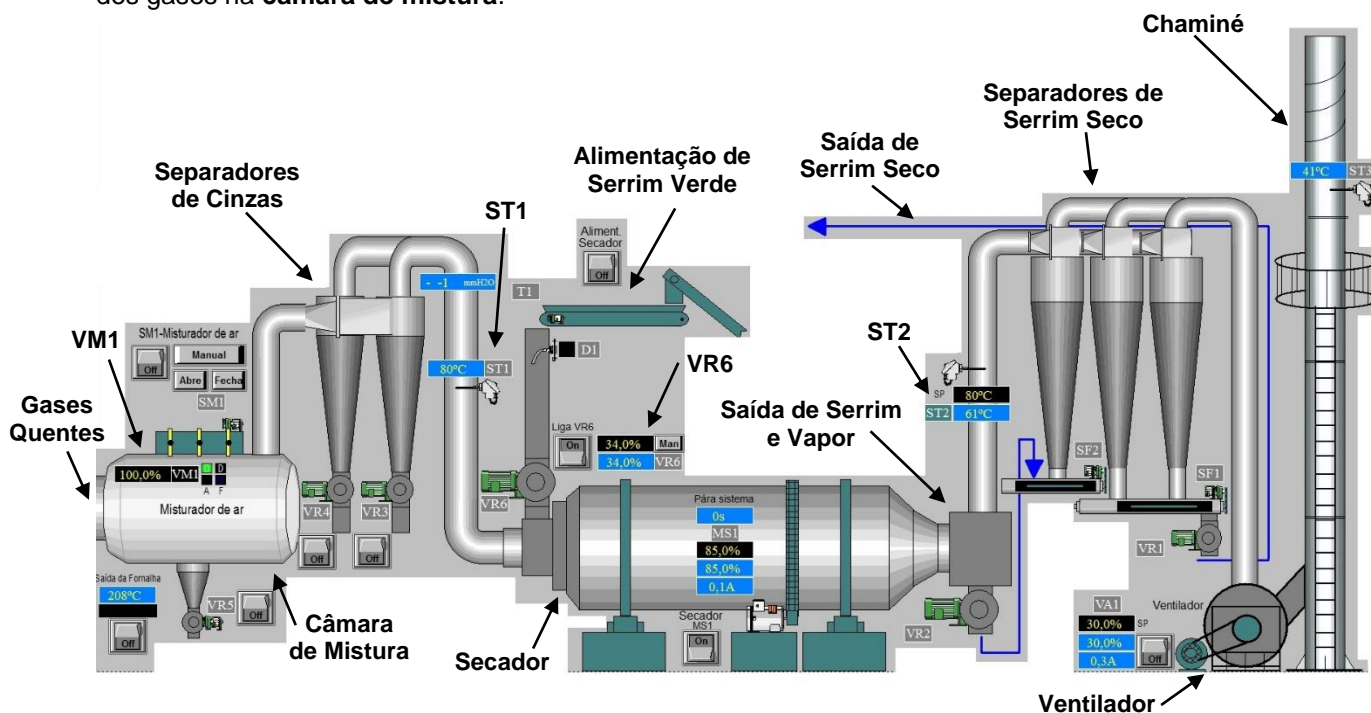


Figura 4.5 – Esquema da Linha de Secagem.

O serrim verde é doseado pela válvula rotativa **VR6**, para que a alimentação seja homogénea, e entre no secador juntamente com os gases quentes. O material faz o trajecto que se encontra representado na Figura 4.6 sendo o **ventilador** centrífugo que se encontra no fim da linha de secagem o responsável pela sucção dos gases da fornalha.

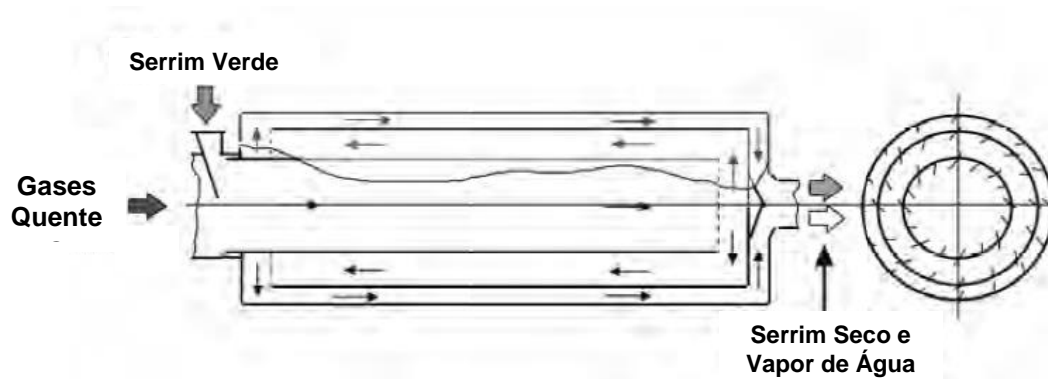


Figura 4.6 - Esquema de um secador rotativo de corpos concêntricos [41].

À saída do secador o serrim seco cai por acção da gravidade num conjunto de *redler's*, que se encontram fechados, e transportam o material até ao depósito de secos. Os gases, juntamente com o vapor de água resultante da secagem, abandonam o secador e passam por uma bateria de três **separadores**, onde existe remoção de partículas de produto seco que possam ter sido arrastadas. Estas caem nos *redler's* que transportam o material seco para o depósito de armazenagem.

Antes da bateria de separadores existe um sensor da temperatura **ST2**, que quando esta ultrapassa o valor de *Set-Point* dá ordem para parar a alimentação do material ao secador, parando a VR6. Por motivos de segurança não convém que este valor seja muito alto, pois pode haver o risco de incêndio. A temperatura do ST2 funciona também como um ponto de referência no controlo do secador. Pretende-se que o material seco apresente um teor de humidade entre os 8 e 12%. Para tal, é necessário recolher amostras periodicamente, no início com intervalos mais pequenos e após a estabilização da temperatura, com intervalos ligeiramente superiores, pois a humidade do material que entra para secar nem sempre é constante.

O operador responsável pelo controlo do equipamento deve manter o valor de ST2 num intervalo de temperaturas muito apertado. Por exemplo, se o ST2 estiver acima do valor ideal, pode aumentar-se a rotação da VR6, que se traduz na entrada de mais material húmido, ou pode baixar-se a temperatura dos gases à entrada do secador, controlando manualmente a abertura de ar fresco na câmara de mistura. No caso de a ST2 diminuir, a actuação será a contrária, ou seja, aumenta-se a temperatura à entrada do secador por alteração do *Set-Point* da **ST1**, ou diminui-se a rotação da VR6. No caso de estes não funcionarem, interrompe-se a alimentação do material a secar durante 4/5 minutos. Em ambas as situações o operador precisa de ter alguma sensibilidade nos valores a usar e na hora de actuar. A Figura 4.7 apresenta um fluxograma contruído, para facilitar o controlo do secador especialmente na fase de arranque da unidade.

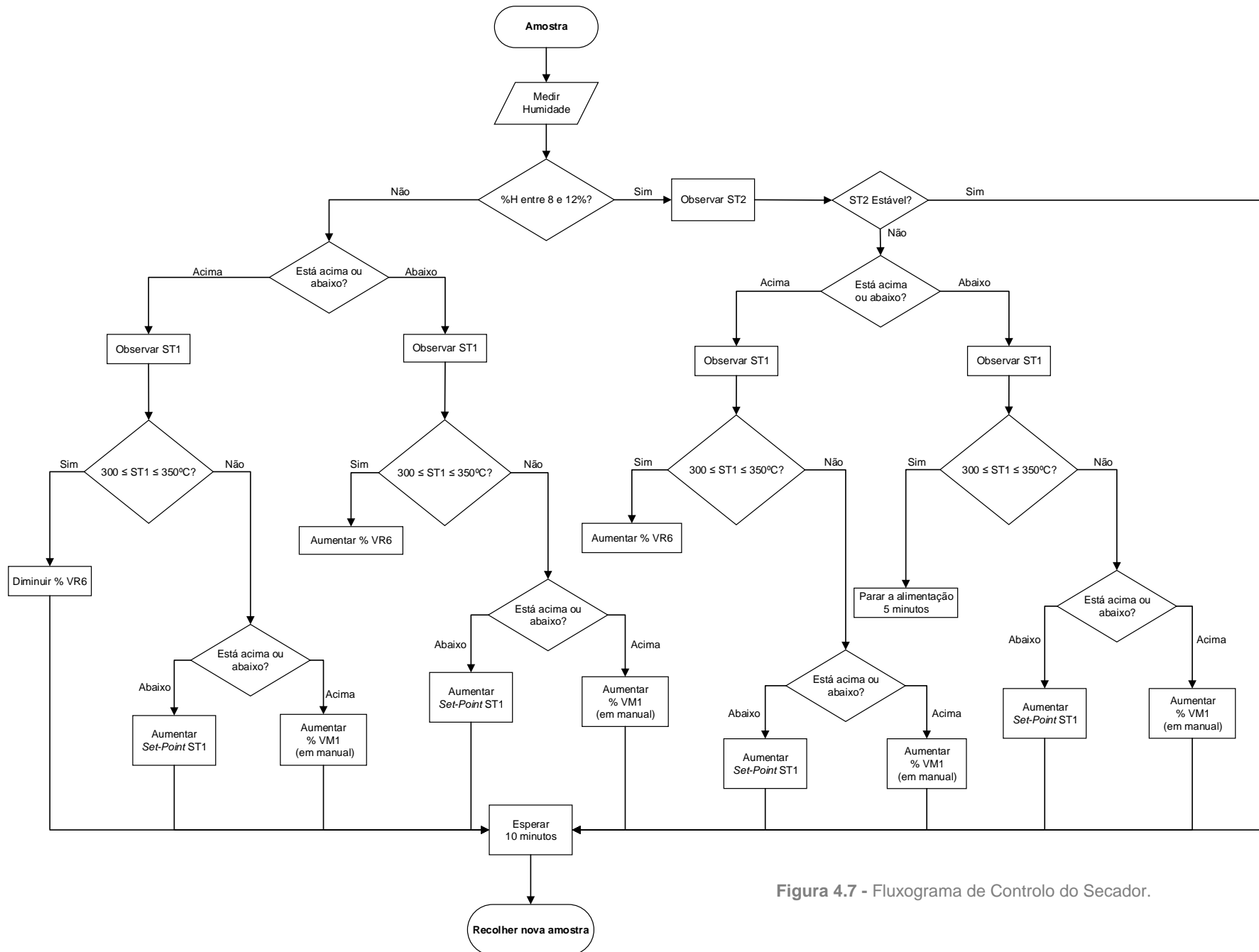


Figura 4.7 - Fluxograma de Controlo do Secador.

#### 4.1.2.3. Prensa

A prensa responsável pela produção de *pellets* é uma PM30 da marca ANDRITZ (Figura 4.8), possui dois rolos de “pressão”.

No início do funcionamento deste equipamento é necessário “afinar” os rolos, o que é feito manualmente pelo operador responsável, prosseguindo-se de seguida ao arranque da prensa. Este arranque consiste em alimentar *pellets*, previamente misturados com óleo, de preferência orgânico, ao tambor de peletização. Esta alimentação é feita manualmente com auxílio de uma pá, por uma porta que existe à entrada do tambor. Vai-se alimentado com *pellets* com óleo até que deixe de sair *pellets* e passe só a sair partículas mais pequenas. Isto é feito no arranque e na paragem da prensa, para limpar a matriz de forma a que não haja entupimento desta. Quando terminada esta operação, pode-se iniciar a alimentação do material a peletizar.



Figura 4.8 – Prensa de *pellets* PM30 da Andritz.

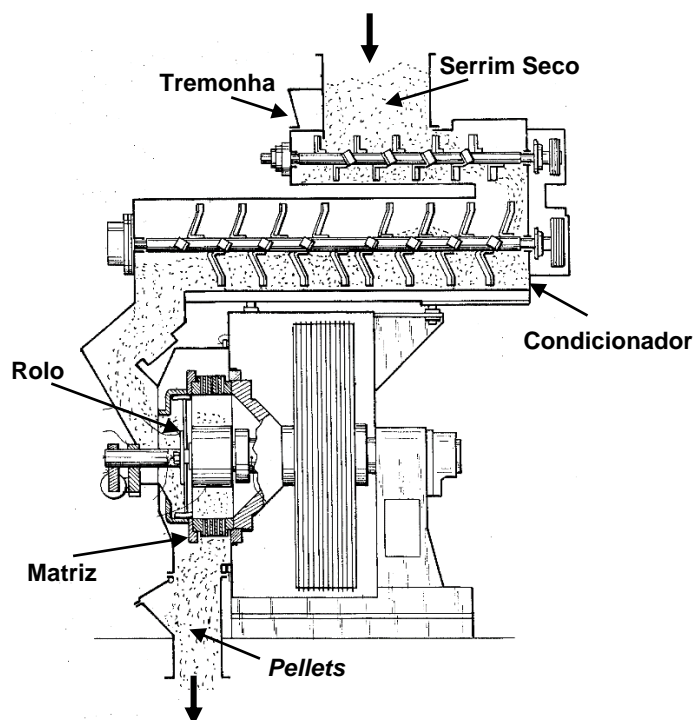


Figura 4.9 - Esquema de uma prensa de *pellets* [42].

Como esquematizado na Figura 4.9, o material seco entra na tremonha da prensa e segue para o condicionador por doseamento de um alimentador de parafuso. No condicionador, consoante a necessidade, existe injeção de água. Esta injeção é feita por ordem do operador após a visualização do aspecto dos *pellets*, onde este define a quantidade de água a adicionar (entre 0 e 3%), em que esta é indexada à quantidade de serrim que está a peletizar. O material abandona o condicionador e dá entrada na matriz, alojando-se entre esta e os rolos de pressão (Figura 4.10). Os rolos exercem pressão contra a matriz, forçando o material a passar pelos orifícios da matriz. É importante que o material não se encontre demasiado seco nem demasiado húmido, pois implica que os rolos tenham que exercer mais pressão do que o aconselhável, podendo danificar o equipamento. À saída da matriz encontra-se uma lâmina a uma distância regulável, que corta o material que sai dos orifícios. O material resultante do corte, que se encontra quente e maleável, cai nos elevadores responsáveis pelo seu transporte até ao arrefecedor. A operação de peletização requer um supervisionamento constante, para controlo de adição de água e para controlo da pressão exercida pelos rolos.

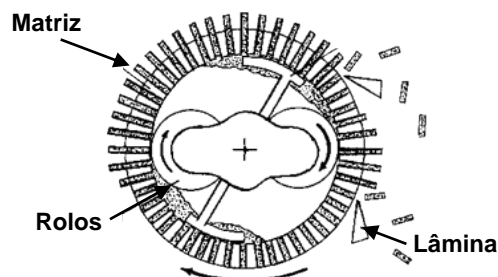


Figura 4.10 - Esquema do processo de peletização [43].

## 4.2. Arranque do Processo de Produção

A fase de arranque da produção de *pellets* teve início no fim do mês de Março do corrente ano e foi acompanhada durante as primeiras três semanas pelos responsáveis e técnicos dos fornecedores da fornalha, do secador e da prensa, juntamente com os restantes trabalhadores da Omnipellets. No âmbito deste trabalho de dissertação de mestrado tive a oportunidade de assistir pessoalmente à montagem e ao arranque desta unidade apresentando neste subcapítulo os problemas que surgiram e as melhorias que foram entretanto implementadas para otimizar o processo fabril. Durante o arranque surgiu a necessidade da existência de um manual de operação que me propus elaborar no âmbito deste trabalho de dissertação e que se encontra na fase conclusão.

### 4.2.1. Problemas e Soluções Encontradas no Arranque do Processo

O arranque foi feito por etapas. A primeira etapa do arranque da unidade consistiu em colocar a **linha de verdes** a funcionar, que abrange todos os equipamentos do percurso desde a entrada da matéria-prima até ao depósito de verdes (crivo excêntrico e moinho de verdes), seguindo-se o arranque da **fornalha** e depois o arranque da **linha de secagem**. Só depois destes se encontrarem a funcionar em condições operatórias estáveis é que se prosseguiu com o arranque da **linha de secos** (moinho de secos, prensa e ensacamento).

Nesta fase, tive a oportunidade de colaborar directamente em várias das alterações introduzidas para melhorar a operacionalidade de todo o processo, conforme será descrito em maior pormenor ao longe deste capítulo.

#### 4.2.1.1. Linha de Verdes

Durante o arranque desta zona do processo de produção não houve problemas graves, havendo principalmente a necessidade de introduzir alguns melhoramentos, que consistiram em diminuir as perdas de matéria-prima nas zonas de queda, isto é, nas zonas de ligação entre tapetes, por instalação de raspadores nos tapetes e coberturas nas zonas de queda do material.

Constatou-se também a necessidade de instalar mais um sensor de nível e um *redler* no depósito de verdes. Inicialmente o depósito de verdes tinha apenas dois sensores de nível, de máximo e de mínimo, situados na zona de saída do depósito. Assim, uma vez que o material ao cair dentro do depósito tem tendência a formar um cone, enchendo apenas a zona onde o serrim verde cai, o sensor de nível máximo nunca era atingido. Para resolver este problema foi posteriormente instalado um

sensor de nível máximo na zona de queda do material, que por sua vez aciona um *redler* (também entretanto projectado e já instalado) que espalha o produto de forma mais uniforme dentro do depósito.

#### 4.2.1.2. Fornalha

Como referido no subcapítulo 4.1., a fornalha é alimentada a BRF, que possui uma humidade entre 50 e 60%. Nas primeiras tentativas de acender a fornalha utilizou-se este tipo de material, juntamente com algum material seco para atear a chama. Embora se tenha conseguido obter uma chama grande, cada vez que se adicionava mais material para a alimentar, esta abafava porque este encontrava-se demasiado húmido. Para resolver este problema optou-se por uma mistura inicial, composta por BRF e material seco, como por exemplo finos de casca, até à obtenção de uma chama “forte” e “estável”, passando depois a alimentação a ser feita apenas com BRF.

Nas primeiras vezes que se ligou a fornalha o material encontrava-se apenas a queimar na zona de saída, fazendo com que saísse muito material por queimar juntamente com as cinzas e impedia a colocação do funcionamento da fornalha em automático. Uma vez que este tipo de funcionamento depende da temperatura de combustão e como o sensor se encontra longe da zona de saída, a temperatura lida pelo sensor não correspondia à realidade. Esta situação aconteceu por falha na montagem do equipamento, pois os 4 *clapets*, com servomotores que regulam a entrada do ar primário, não se encontravam bem montados e o ar primário não estava a ser bem direccionado, dificultando o controlo da zona de combustão.

Durante esta fase de experimentação, ocorreu um acidente em que a fornalha já não se encontrava a funcionar e o material por queimar na zona de combustão se foi esgotando, fazendo com que a chama se propagasse até à gaveta de alimentação acionando o sistema de incêndio. Para que tal situação não se repita, sempre que se queira desligar a fornalha, é necessário efectuar antes ciclos de alimentação à fornalha em vazio. Isto é, desliga-se os pisos-móveis e aciona-se a alimentação à fornalha, de forma a limpar a biomassa existente entre as comportas e na gaveta de alimentação. Este procedimento evita também que fique material no alimentador a exercer pressão sobre as comportas, que após algum tempo, compacta e bloqueia o seu funcionamento e exigindo a limpeza manual.

#### 4.2.1.3. Linha de Secagem

Na linha de secagem o maior desafio foi a estabilização das condições operatórias, que conduz a elevadas quantidades de material fora de especificação. No início a alternativa que havia para o escoamento do material fora de especificação era apenas uma raseira existente num *redler* responsável pelo percurso do serrim seco entre o secador e o depósito de secos, na parte exterior do edifício. Assim quando o material se encontrava fora de especificação abria-se a raseira e o produto caía para a pá carregadora ou para o chão. Como se perdia muito material com o vento, optou-se por montar uma estrutura na saída da raseira semelhante a um funil, fazendo com que o serrim caísse dentro de um contentor móvel sem haver tanto desperdício de material. Quando o caudal de material era grande, este não saía todo na raseira e parte caía no depósito de secos. Para ultrapassar este problema, a quando se alterou a saída da raseira, montaram-se uns raspadores para limpar os *redler's*, para que

não passasse material para dentro do depósito de secos, mas como esta situação requeria constantemente um operador disponível para ir despejar o contentor móvel ao parque de matérias-primas, foi decidido instalar uma comporta no fim do *redler* para direccionar o destino do material. No caso de o produto estar fora de especificação este abandona o processo através duma comporta que direcciona o serrim consoante o seu nível de especificação. Se o produto estiver dentro de especificação é direccionado para dentro do depósito, caso contrário é direccionado para uma sequência de tapetes responsáveis pelo seu retorno até ao parque de matérias-primas, entrando depois novamente no processo, juntamente com a estilha.

Na câmara de mistura o equipamento eléctrico responsável pela abertura das grelhas encontra-se situado por cima destas. Ao estabelecer a ligação entre a fornalha e a linha de secagem, como os gases estavam muito quentes e o ventilador a funcionar a baixa frequência, o calor dos gases derreteu as ligações eléctricas. Durante a reparação necessária desviou-se a localização dos cabos eléctricos da zona de troca de ar.

#### 4.2.1.4. Linha de secos

Na linha de secos a maior dificuldade foi a estabilização do funcionamento da prensa. Como referido no subcapítulo 4.1. o material a peletizar passa pelo condicionador, onde ocorre injeção de água e entra na matriz. Aqui o serrim aloja-se entre a matriz e os rolos, em que estes vão exercendo pressão sobre material contra a matriz. O que acontece é quando um dos rolos excede a pressão máxima tem tendência a partir o respectivo fusível. O fusível é uma pequena peça da estrutura que faz com que o rolo exerça pressão contra a matriz. Na Figura 4.11 encontra-se destacada esta peça após a quebra de um fusível (Figura 4.12).



Figura 4.11 - Quebra de fusível.



Figura 4.12 - Fusível partido.

Nas primeiras vezes que se arrancou com a prensa aconteceu partirem-se fusíveis, provavelmente, devido ao material a peletizar estar demasiado seco e não se ter injectado água suficiente, obrigando os rolos a exercer mais pressão para que o material passasse pela matriz. Estes incidentes obrigaram a uma frequente amostragem do material à entrada da prensa, bem como a observação dos *pellets* à saída da prensa de forma a controlar a água a injectar no condicionador.

Outra justificação para a quebra de fusíveis, pode ser o facto de se injectar água e não vapor, como recomendado pelo fabricante da prensa. A água não molha o material de forma uniforme e pode levar à formação de grumos, dificultando assim a sua passagem pela matriz.

#### 4.2.2. Estudo/Análise do Arranque do Processo

Durante o processo de produção, como referido anteriormente, foram recolhidas amostras de serrim seco à saída do secador para saber se este apresentava teores de humidade dentro do intervalo pretendido. De forma a criar um histórico de condições operatórias de produção, para cada dia de trabalho registaram-se no acto da recolha da amostra os seguintes parâmetros:

- **Tempo** - A hora da recolha da amostragem (min);
- **T<sub>SF</sub>** - A temperatura à saída da fornalha (°C);
- **ST1** - A temperatura à entrada do secador (°C);
- **H<sub>E</sub>** – Teor de humidade do serrim verde à entrada do secador (%);
- **ST2** – A temperatura à saída do secador (°C);
- **H<sub>S</sub>** – Teor de humidade do serrim seco que sai do secador (%);
- **VR6** – Rotação da válvula rotativa 6, que doseia o serrim verde à entrada do secador (%);
- **MS1** – Rotação do tambor do secador (%);
- **VA1** – Rotação do ventilador centrífugo (%).

Todos estes parâmetros são variáveis de controlo do processo de secagem, como ilustrado na Figura 4.13, sendo a H<sub>S</sub> (a vermelho) a variável principal a controlar. As variáveis a laranja podem ser consideradas variáveis secundárias de controlo, pois não são manipuladas directamente, mas necessitam de ser controladas para se atingir o teor de H<sub>S</sub> desejável. As variáveis a preto são as variáveis a manipular, quer em manual quer em automático. A válvula monitorizada, **VM1**, que controla a entrada de ar na câmara de mistura (%), é fundamental no controlo da secagem, como será demonstrado mais à frente.

É relevante salientar que o H<sub>E</sub> nem sempre foi registado, pois como o laboratório interno só possui um equipamento para este tipo de medição, a determinação de H<sub>S</sub> foi sempre privilegiada face à H<sub>E</sub>, pois além de ser a variável principal a controlar, como possui menor teor de água, a análise é mais rápida (cerca de 5 minutos), ao contrário da análise da H<sub>E</sub> que pode chegar aos 20 minutos.

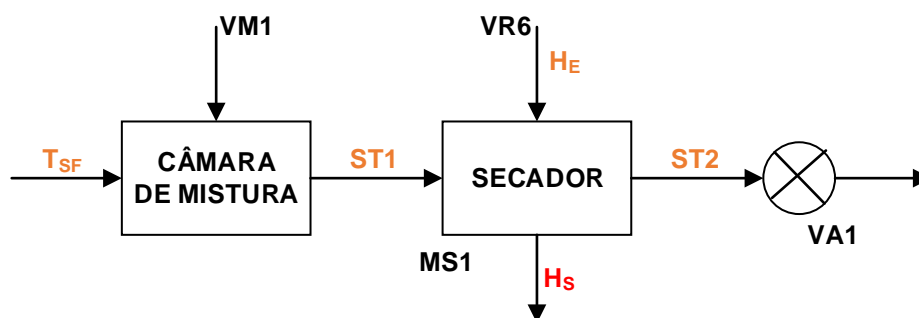


Figura 4.13 - Esquema da linha de secagem com as variáveis a controlar.

Para a análise do funcionamento do processo, consideraram-se os ensaios realizados nos dias que constam na Tabela 4.5.



Tabela 4.5 - Data dos ensaios (dias de produção) a considerar.

Dia	Ensaio	Observações
08/04/2015	T1	A fornalha apagou-se
16/04/2015	T2	A fornalha apagou-se
17/04/2015	T3	-
29/04/2015	T4	-
19/05/2015	T5	-
26/05/2015	T6	-
28/05/2015	T7	-

#### 4.2.2.1. Análise dos Ensaios de Arranque

##### ENSAIO T1

Analisando a Figura 4.14 é possível observar que a fornalha apagou-se aos 150 minutos, devido à descida da temperatura  $T_{SF}$  e como esperado, conseqüentemente, é visível o aumento do teor da  $H_s$ .

Aos 350 minutos voltou a arrancar-se com a fornalha conseguindo-se apenas estabilizar  $H_s$  entre os 8 e 9% aos 1600 minutos. Constata-se, também, a paragem da fornalha por volta dos 2100 minutos, pela descida das temperaturas  $T_{SF}$  e  $ST1$ .

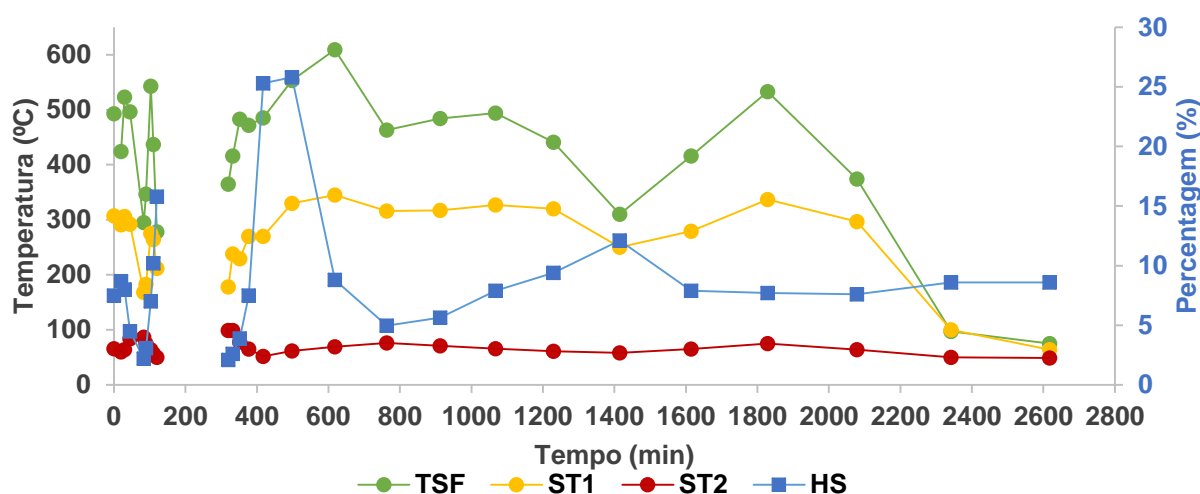


Figura 4.14 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ ,  $ST1$  e  $ST2$ ) e da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) ao longo do tempo, no ensaio T1.

Na Figura 4.15, tal como na figura anterior, é visível novamente o facto de a fornalha ter-se apagado. Observa-se também que as condições operatórias VA1, MS1 e VR6 permanecem praticamente constantes, não sendo possível constatar uma influência significativa no comportamento da  $H_s$  ao longo do tempo. Nesta figura o comportamento da  $ST2$  encontra-se mais evidenciado, verificando-se que esta possui uma influência mais significativa sob a  $H_s$  nos primeiros minutos, entre os 600 e 1600 minutos, onde o aumento da  $ST2$  se traduz na diminuição do teor de humidade à saída. No entanto, a partir dos 1600 minutos a influência da  $ST2$  já não é tão visível nos valores da humidade, possivelmente por se ter atingido o equilíbrio entre as variáveis  $T_{SF}$ ,  $ST1$  e  $ST2$ .

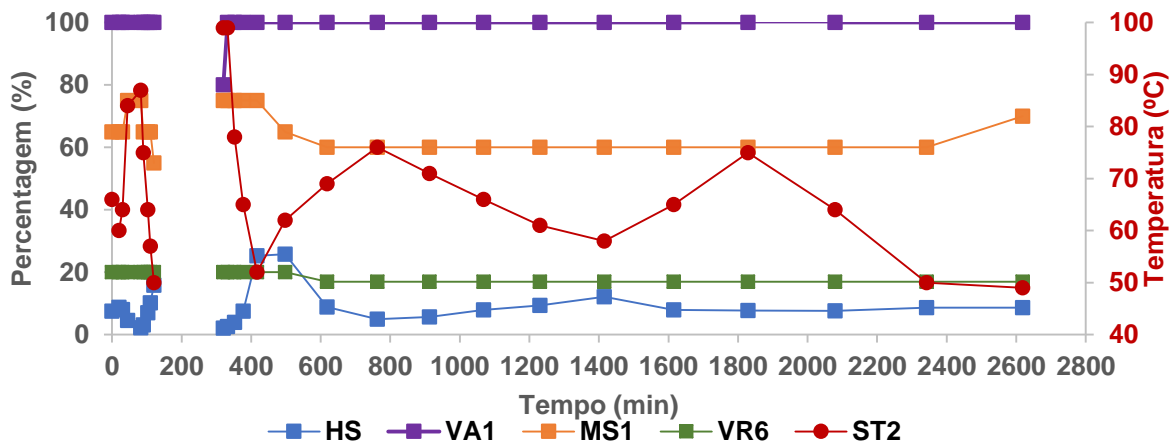


Figura 4.15 - Representação gráfica das condições operatórias do secador (VR6, VA1 e MS1), da humidade à saída do secador (Hs) e da temperatura à saída do secador (ST2) ao longo do tempo, no ensaio T1.

De seguida fez-se uma análise às interações entre as diferentes condições operatórias, utilizando apenas os dados referentes ao novo arranque da fornalha.

Na Figura 4.16 representa-se o teor de Hs em função da ST1, onde os pontos a vermelho, com valores de Hs inferiores a 11% correspondem ao início e fim do ensaio, foram desprezados, assim como os valores de humidade maiores a 25%, por resultarem, possivelmente, de erros de medição.

Analisando a figura verifica-se valores de ST1 entre os 270 e 350°C, concluindo-se que uma diferença de 50°C não vai influenciar significativamente o teor de humidade do serrim à saída, provavelmente devido aos elevados caudais com que se está a trabalhar.

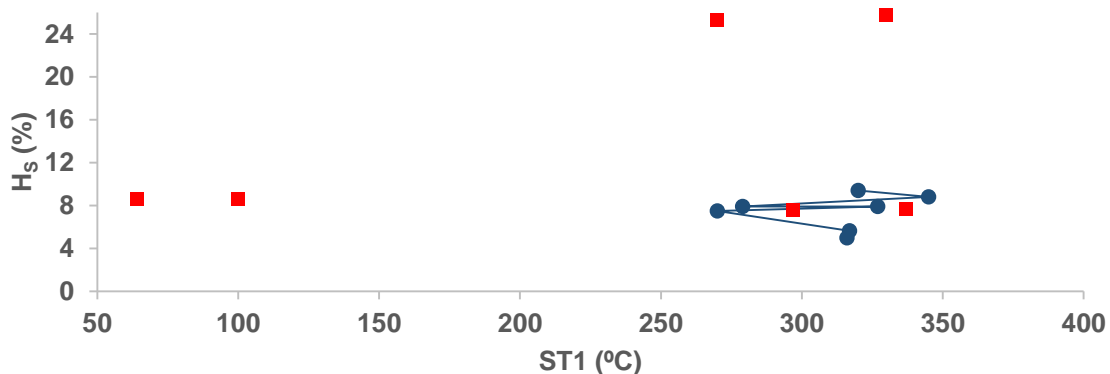
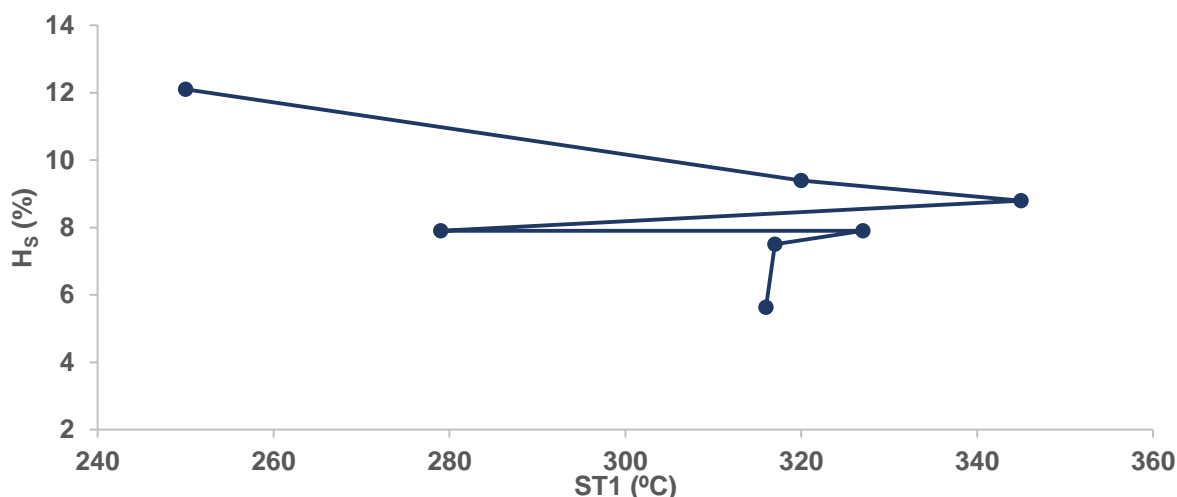


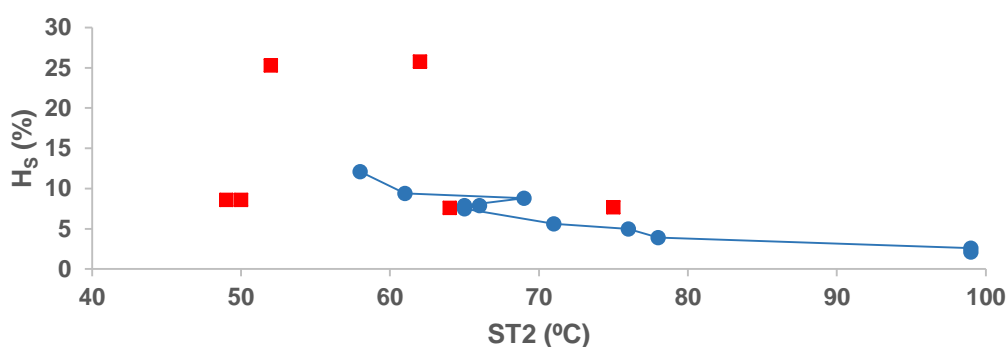
Figura 4.16 – Representação gráfica da humidade à saída do secador (Hs) em função da temperatura à entrada do secador (ST1) no ensaio T1.

Voltando a fazer a representação da Figura 4.16 mas com valores das condições operatórias constantes, é possível constatar novamente que uma variação de 50°C não irá perturbar significativamente o valor de Hs. No entanto existe uma certa tendência para a diminuição da humidade com o aumento de temperatura, como seria previsível. Excluindo o ponto de ST1 inferior a 100°C, que corresponde ao início do ensaio, é possível observar que à medida que a temperatura ST1 aumenta o teor de humidade tem tendência a diminuir.



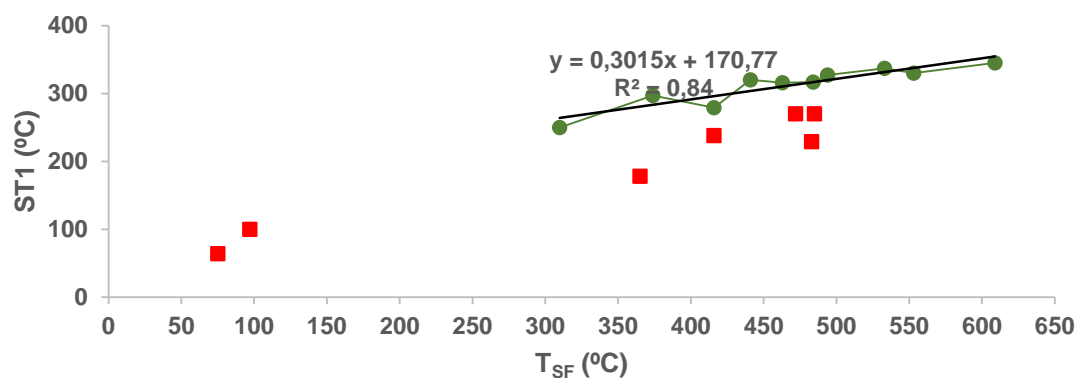
**Figura 4.17** - Representação gráfica da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) em função da temperatura à entrada do secador ( $ST1$ ) no ensaio T1, a condições operatórias constantes com  $VR6=17\%$ ,  $VA1=100$  e  $MS1=60$ .

Na Figura 4.18 é possível verificar que à medida que a temperatura  $ST2$  aumenta o teor de  $H_s$  diminui, como era expectável. Novamente, os pontos representados a vermelho correspondem ao início e fim do ensaio.



**Figura 4.18** - Representação gráfica da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) em função da temperatura à saída do secador ( $ST2$ ) no ensaio T1.

Representando a temperatura  $ST1$  em função da  $T_{SF}$  (Figura 4.19) é possível verificar uma relação quase linear entre elas, que pode ser explicada pelo facto de a posição da válvula monitorizada ( $VM1$ ) não ter sido alterada, possivelmente devido ao facto da  $ST1$  se ter mantido dentro do intervalo de temperaturas do *Set-Point* (entre 300 e 350°C).



**Figura 4.19** - Representação gráfica da temperatura à entrada do secador ( $ST1$ ) em função da temperatura à saída da fornalha ( $T_{SF}$ ) no ensaio T1.

Na Figura 4.20, os valores de ST1 entre os 50 e 100°C correspondem ao início do ensaio. Os seguintes, entre 100 e 240°C, apresentam valores baixos de ST1 para elevadas temperaturas de ST2, devido ao facto de, no início do processo de secagem o primeiro material a sair ser maioritariamente composto por partículas mais finas e só após algum tempo, aproximadamente 25/30 minutos é que as partículas de maiores dimensões saem, não havendo diferenciação de granulometrias, e baixando os valores da temperatura ST2.

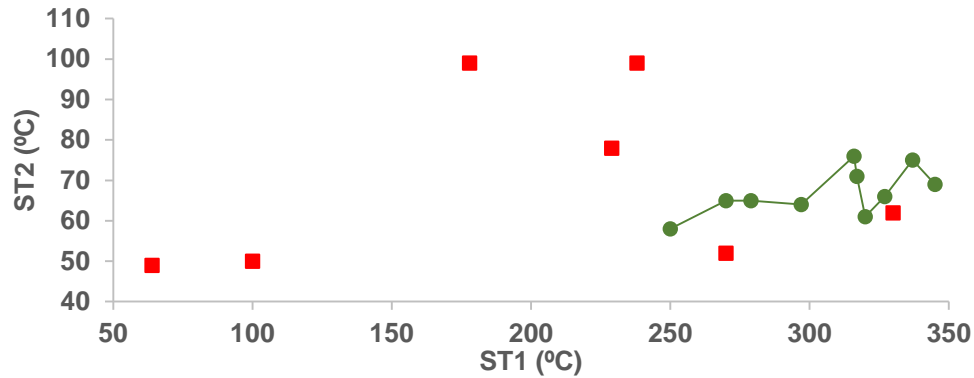


Figura 4.20 - Representação gráfica da temperatura à saída do secador (ST2) em função da temperatura à entrada do secador (ST1) no ensaio T1.

### ENSAIO T2

No ensaio T2 a fornalha voltou a apagar-se, como no ensaio T1, tratando-se apenas os dados referentes ao segundo arranque nesse mesmo dia.

Da Figura 4.21 observa-se que apesar das oscilações na temperatura  $T_{SF}$ , a ST1 manteve-se praticamente constante, não sofrendo variações muito significativas. No entanto não se conseguiu estabilizar  $H_s$ , embora se tenha demorado menos tempo, do que no ensaio T1, a obter teores de humidades dentro do intervalo de valores pretendido (8 e 12%).

Verifica-se uma oscilação no comportamento de  $H_s$ , quando no entanto as temperaturas ST1 e ST2 não sofrem variações significativas. Esta oscilação pode dever-se a variações do teor de humidade do serrim verde, de que não temos registo.

É visível ainda a descida acentuada da temperatura  $T_{SF}$ , aos 440 minutos, sinal que a fornalha foi desligada.

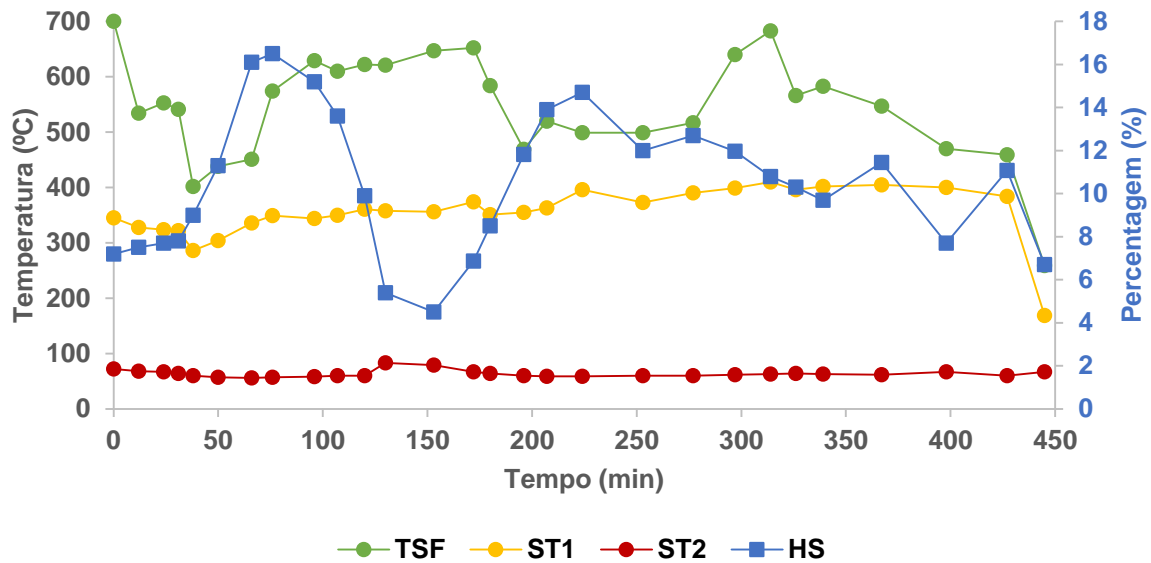


Figura 4.21 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T2.

Na Figura 4.22 os pontos a vermelho referem-se, como no ensaio T1, aos pontos iniciais e finais que foram desprezados. Contrariamente ao ensaio anterior, a temperatura ST1 em função da  $T_{SF}$  não apresenta um comportamento linear, sendo assim possível constatar que houve uma maior variação da posição de VM1, possivelmente por a temperatura ST1 se encontrar acima do intervalo de *Set-Point*.

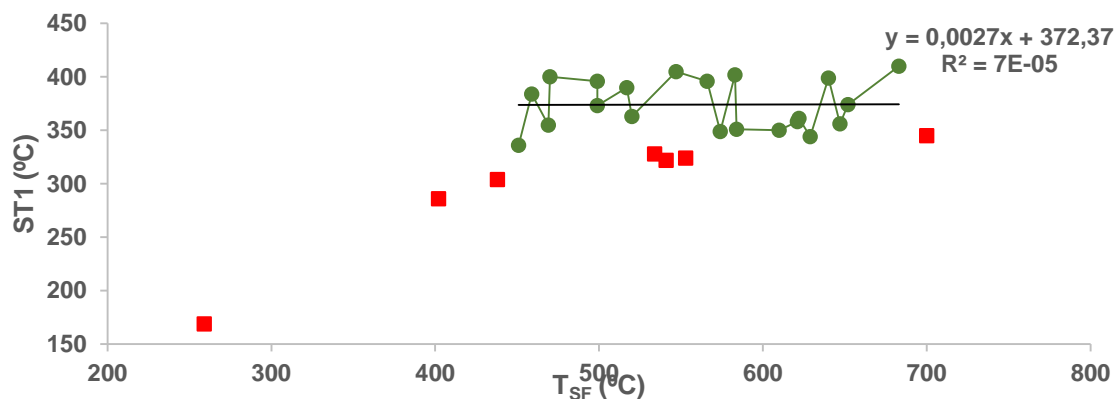


Figura 4.22 - Representação gráfica da temperatura à entrada do secador (ST1) em função da temperatura à saída da fornalha ( $T_{SF}$ ) no ensaio T2.

### ENSAIO T3

Neste ensaio, a fornalha já não se apagou, embora tenha sido difícil manter o seu funcionamento estável.

Analisando a Figura 4.23, pela oscilação da temperatura  $T_{SF}$  é possível verificar-se que a fornalha apresentou um comportamento inconstante, que se reflectiu na temperatura ST1 e no teor da humidade  $H_S$ , dificultando assim a estabilização desta no intervalo de teores pretendido.

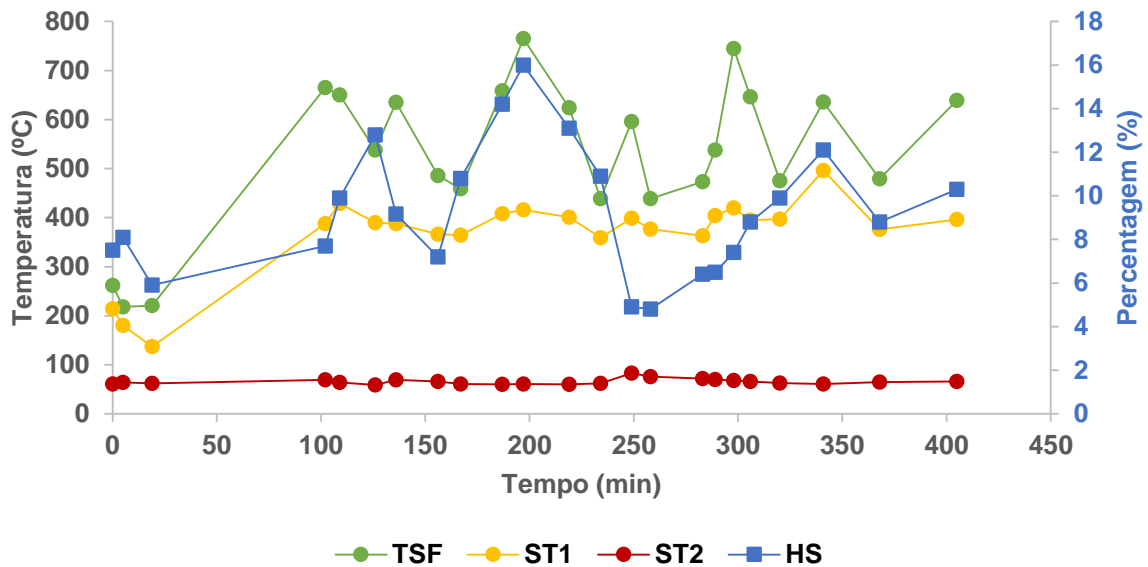


Figura 4.23 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ ,  $ST1$  e  $ST2$ ) e da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) ao longo do tempo, no ensaio T3.

No ensaio T2, as representações gráficas das condições operatórias em função do tempo, do teor de humidade  $H_s$  em função das temperaturas  $ST1$  e  $ST2$ , bem como as representações da  $ST1$  em função de  $T_{SF}$  e da  $ST2$  em função de  $ST1$ , apresentam comportamentos semelhantes ao do ensaio T1.

#### ENSAIO T4

Este ensaio decorreu de forma bastante semelhante ao ensaio T3, à excepção que os técnicos responsáveis pelos equipamentos já não se encontravam presentes durante o decorrer do processo de produção.

Como no ensaio anterior, observando a Figura 4.24 é possível verificar-se que não se conseguiu estabilizar o teor de  $H_s$ , devido ao comportamento inconstante da temperatura  $T_{SF}$ , que consequentemente influenciou a variação visível da  $ST1$ .

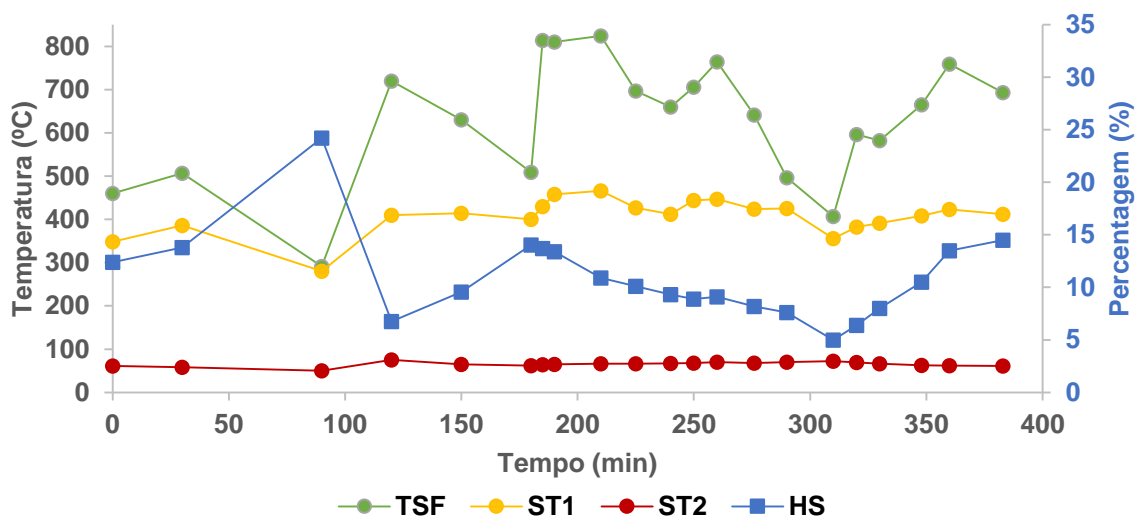


Figura 4.24 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ ,  $ST1$  e  $ST2$ ) e da humidade à saída do secador ( $H_s$ ) ao longo do tempo, no ensaio T4.

## ENSAIO T5

Ao contrário dos ensaios anteriores, neste conseguiu-se 4 teores de humidade do serrim à entrada do secador ( $H_E$ ).

Analisando a Figura 4.25 é visível a dificuldade em estabilizar o funcionamento da fornalha pela variação da temperatura  $T_{SF}$  embora menos acentuada do que no ensaio T4. Verifica-se também que a ST1 sofreu várias oscilações influenciando no teor de humidade do material à saída do secador, embora se tenha conseguido estabilizar o sistema no intervalo pretendido, cerca dos 180 minutos.

Com base nas poucas medições do teor de humidade  $H_E$ , realizadas praticamente de hora a hora, é possível considerar que o valor é constante ao longo do tempo.

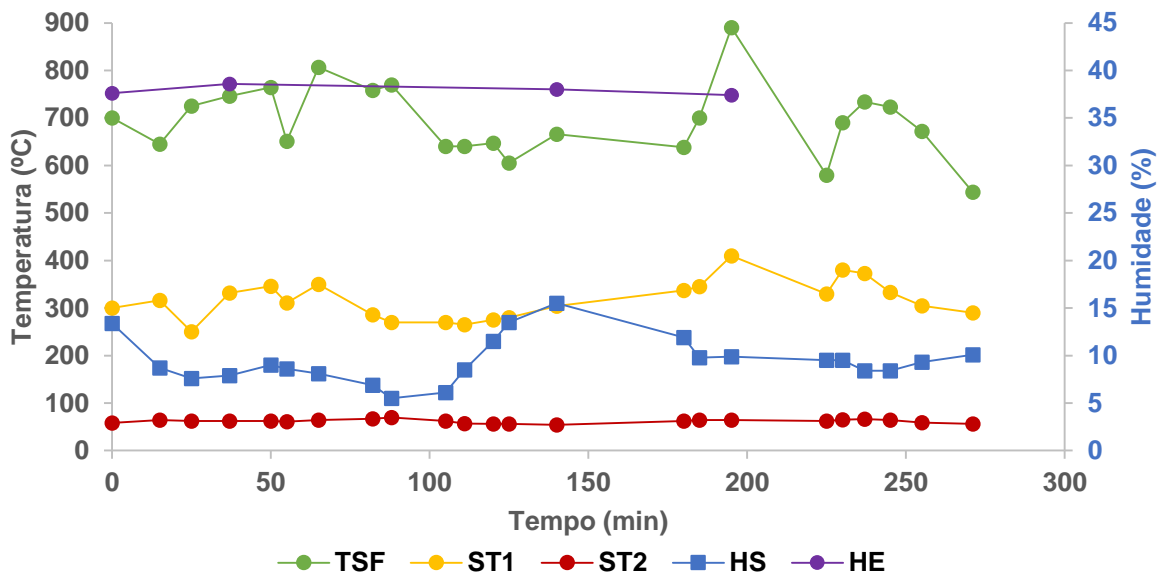


Figura 4.25 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à entrada e saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T5.

Da representação gráfica do teor de  $H_E$  em função do teor de humidade do serrim seco (Figura 4.26), não se consegue depreender uma conclusão, a não ser que existem quatro patamares de valores de  $H_E$ .

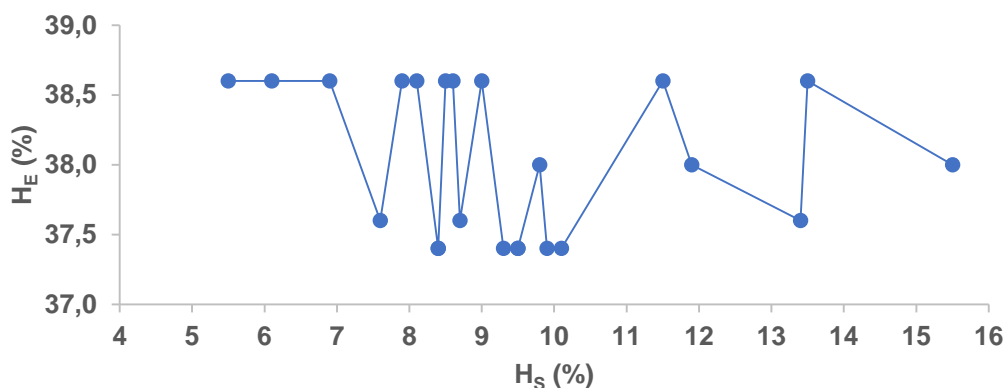
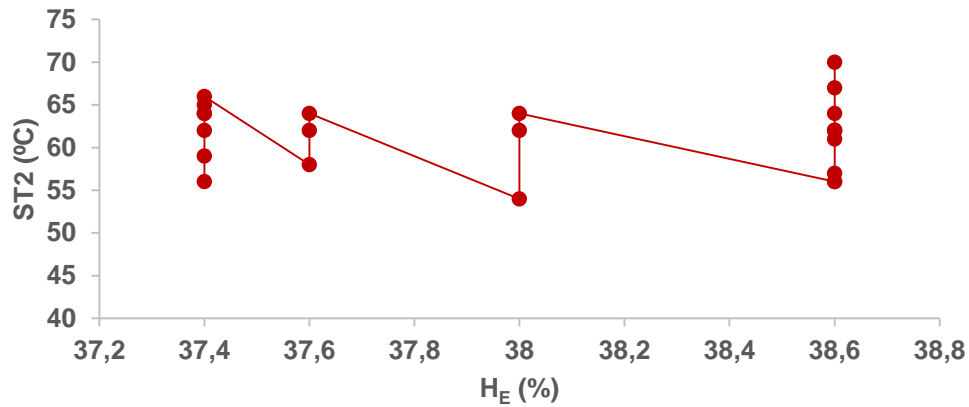
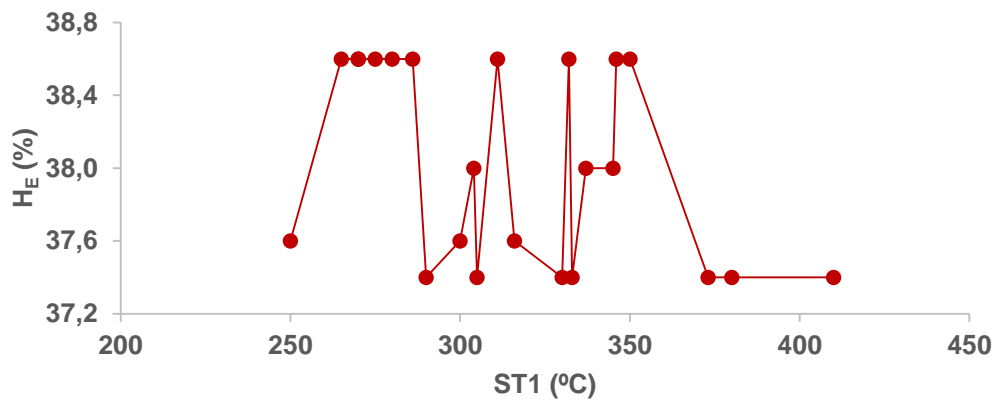


Figura 4.26 - Representação gráfica da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) em função da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) do ensaio T5.

Tal como na figura anterior, as representações gráficas de ST2 e ST1 em função de  $H_E$  (Figura 4.27 e Figura 4.28), também não são muito conclusivas.



**Figura 4.27** - Representação gráfica da temperatura à saída do secador ( $ST_2$ ) em função da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) do ensaio T5.



**Figura 4.28** - Representação gráfica da humidade à entrada do secador ( $H_E$ ) em função da temperatura à entrada do secador ( $ST_1$ ) do ensaio T5.

### **ENSAIO T6**

Analisando a Figura 4.29 é possível verificar que a temperatura  $ST_1$ , bem como o teor de  $H_s$  estabilizaram mais rapidamente do que nos ensaios anteriores. A VM1 teve um papel fundamental no comportamento da  $ST_1$ , pois conseguiu que esta se mantivesse quase sempre constante apesar das oscilações da temperatura  $T_{SF}$ .



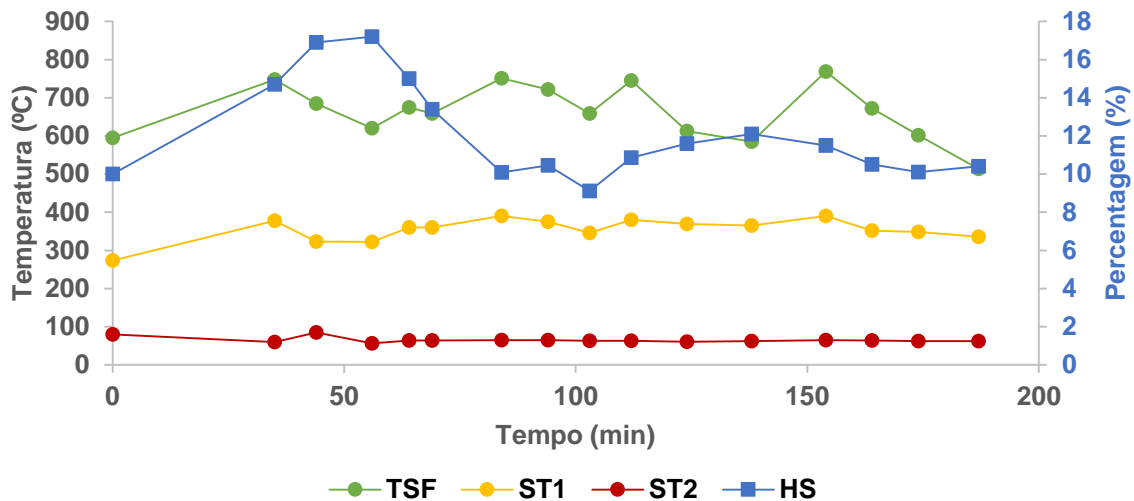


Figura 4.29 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T6.

### ENSAIO T7

O ensaio T7 corresponde ao último dia de produção em que estive presente, apresentando um comportamento bastante estável quando comparado com os primeiros ensaios.

Analisando a Figura 4.30 verifica-se que a estabilização do teor de humidade à saída foi alcançada muito mais depressa que nos ensaios anteriores. Neste ensaio só foi necessário 90 minutos para estabilizar a temperatura ST1, embora a  $T_{SF}$  tenha sofrido uma diminuição. Verifica-se também que ST1 varia entre os 330 e 290°C possivelmente devido à diminuição do teor de  $H_E$ , consequência da subida da temperatura ambiente.

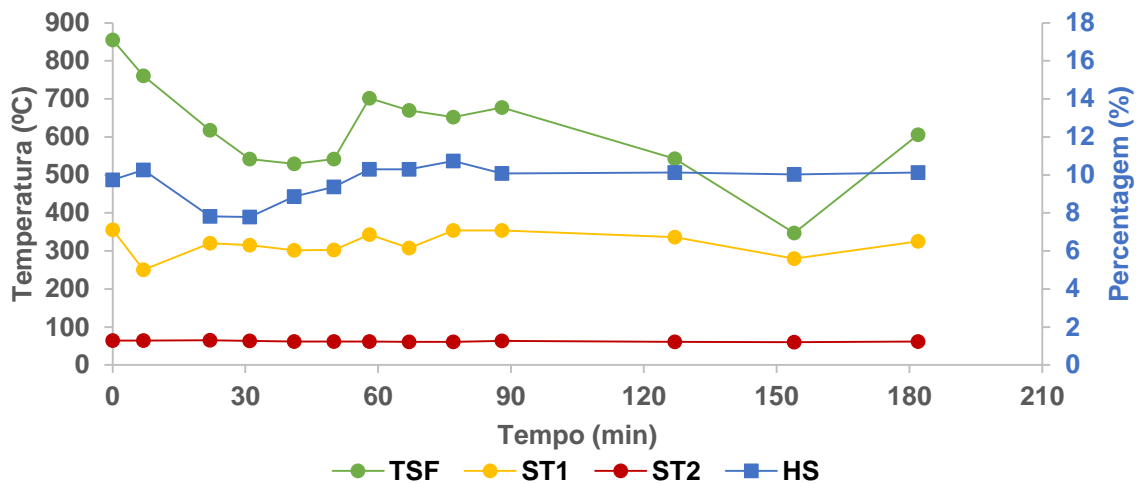


Figura 4.30 - Representação gráfica das condições de operação da linha de secagem ( $T_{SF}$ , ST1 e ST2) e da humidade à saída do secador ( $H_S$ ) ao longo do tempo, no ensaio T7.

As representações gráficas das restantes condições operatórias neste ensaio apresentam um comportamento semelhante ao do ensaio T1.

Analisando a representação gráfica da Figura 4.31 verifica-se que uma variação da diferença de temperaturas de 100°C não provoca uma variação significativa no valor de  $H_S$ .

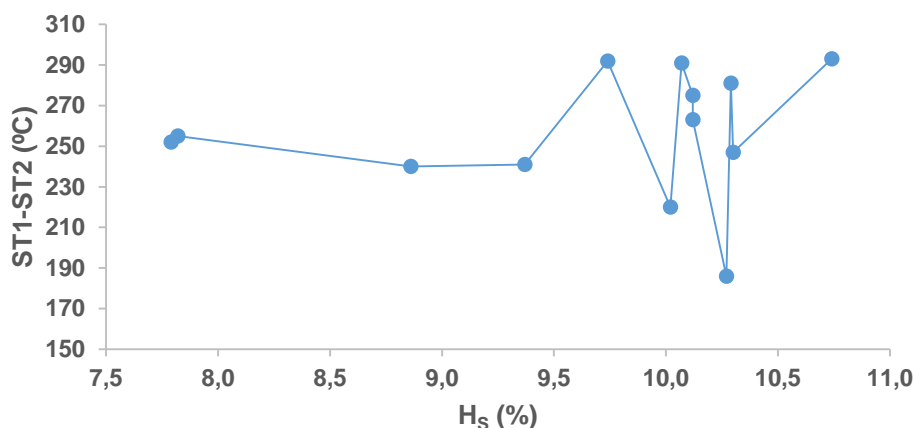


Figura 4.31 – Diferença entre as temperaturas ST1 e ST2 em função do teor de H<sub>s</sub> do ensaio T7.

### 4.3. Análise dos consumos de Energia e de Biomassa no Grupo Martos

Neste subcapítulo estudar-se-ão, os consumos de energia do Grupo Martos, bem como os consumos de Biomassa, identificando as respectivas entradas, saídas e possíveis integrações.

#### 4.3.1. Consumos de Energia

Como referido anteriormente o Grupo Martos possui cinco zonas principais de produção no seu complexo industrial, a VRF, a Serração, as Paletes, a Nelsimar e a Omnipellets. Para simplificação do tratamento de dados neste subcapítulo admite-se a junção da Serração com as Paletes apenas como uma zona, Serração + Paletes, uma vez que estas possuem operações semelhantes entre si e produzem o mesmo tipo de subprodutos.

As zonas VRF, Serração + Paletes e a Nelsimar têm um horário laboral de 8 horas por dia, 22 dias por mês, durante 11 meses por ano, à excepção da caldeira existente na Serração + Paletes que trabalha 24 horas por dia, 7 dias por semana, 11 meses por ano.

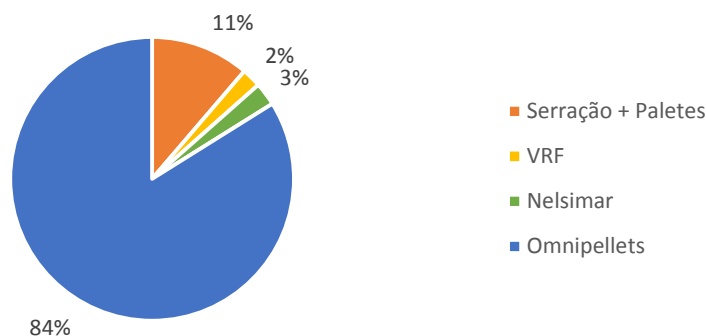
A Omnipellets de momento encontra-se a trabalhar 16 horas por dia, 5 dias por semana, mas prevê-se um horário laboral de 24 horas por dia, durante 22 dias por mês, 11 meses por ano, tendo sido estes os valores utilizados nos cálculos efectuados.

Todas estas unidades possuem consumo de energia eléctrica, mas apenas duas consomem energia térmica: a Serração + Paletes e a Omnipellets. A Serração + Paletes utiliza energia térmica nas estufas responsáveis pelo tratamento térmico da madeira e a Omnipellets utiliza para a secagem do serrim verde.

Numa primeira etapa calcula-se o consumo de energia eléctrica no Grupo Martos, sendo de salientar que os dados utilizados referentes à Omnipellets são dados teóricos, uma vez que a unidade ainda se encontra na fase de arranque. Os restantes dados foram retirados de um relatório interno de 2014 [44].

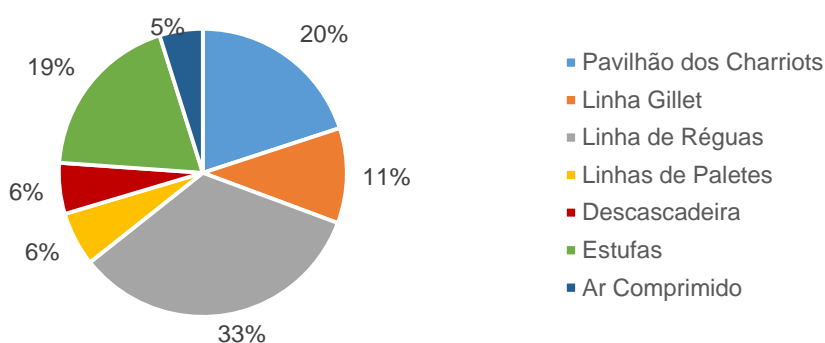
A Figura 4.32 representa as fracções de energia eléctrica consumidas por cada zona do Grupo Martos. A Omnipellets representa o maior consumo, como seria expectável devido ao seu elevado horário laboral e ao equipamento com elevada potência. O conjunto da Serração + Paletes representa

a segunda maior parcela do consumo, por tratar de linhas de corte automatizadas, enquanto a VRF é composta apenas por uma peça de equipamento e a Nelsimar possui mais trabalho manual do que automatizado, representando assim um pequeno consumo de electricidade.



**Figura 4.32** – Distribuição dos consumos eléctricos das várias unidades do Grupo Martos.

Da Figura 4.33 verifica-se que o maior consumo energético na Serração + Paletes refere-se às operações de corte (Pavilhão de *Charriot's* e linha de réguas) e ao tratamento térmico (estufas), como seria espectável uma vez que se tratam de operações de corte e de secagem, que requerem equipamentos com elevadas exigências energéticas.



**Figura 4.33** – Distribuição dos consumos eléctricos na Serração + Paletes.

Na Figura 4.34 encontram-se os consumos eléctricos na unidade Omnipellets, onde a fracção da fornalha + secador, do moinho de verdes e da prensa refere-se unicamente ao funcionamento do equipamento, enquanto a do moinho de secos corresponde ao consumo da operação da moagem de secos, mais o consumo da operação de ensaque e dos caminhos entre estes. A parcela das alimentações + caminhos refere-se à alimentação da estilha e do serrim verde.

Da análise à figura observa-se que o moinho de verdes, o moinho de secos e a prensa representam o maior consumo, pois tratam-se de equipamentos com elevada potência eléctrica.

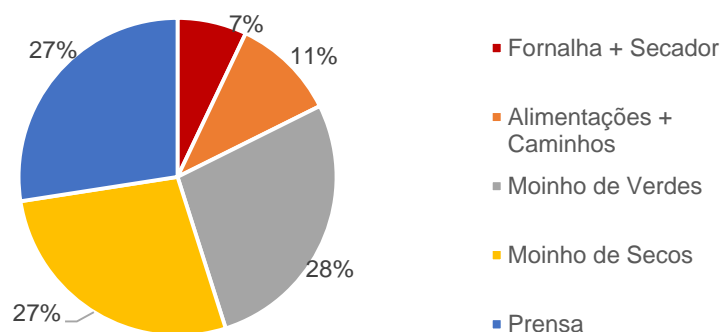


Figura 4.34 – Distribuição dos consumos eléctricos da Omnipellets.

Além do consumo de energia eléctrica existe também consumo de energia térmica, como referido no início deste subcapítulo, nas estufas da Serração + Paletes e no secador da Omnipellets.

Nas instalações da Serração + Paletes existe uma caldeira a biomassa responsável por responder à necessidade térmica das estufas. Na **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** apresenta-se a potência instalada dessa caldeira, bem como a necessidade térmica das estufas, além dos dados considerados nos cálculos efectuados. É ainda relevante referir que se utilizou a informação relativa à proposta de aquisição de uma nova caldeira e de novas estufas.

Na Omnipellets encontra-se instalada uma fornalha a biomassa que é responsável por fornecer calor ao processo de secagem. O aproveitamento desta energia térmica depende do teor de humidade do material a secar. Assim analisaram-se dois cenários correspondentes à situação de secagem no Inverno e no Verão. Na Tabela 4.6 encontra-se a potência instalada, a necessidade térmica da secagem e o seu aproveitamento, bem como os dados considerados para cada situação.

Tabela 4.6 - Dados referentes à necessidade térmica no secador da Omnipellets.

$P_{\text{instalada}}$ (MW)	4
$\Delta H_{\text{vap, água}}$ (kJ/kg) ( $T=150^{\circ}\text{C}$ )	2200
<b>Inverno</b>	
$H_{\text{entrada}}$ (%)	55
$H_{\text{saída}}$ (%)	12
<b>Verão</b>	
$H_{\text{entrada}}$ (%)	40
$H_{\text{saída}}$ (%)	10

#### 4.3.2. Consumos de Biomassa

Este subcapítulo consiste na contabilização das entradas e saídas de biomassa no Grupo Martos, bem como na contabilização dos consumos internos.

Os dados utilizados são referentes às vendas de 2014, sendo a maior parte contabilizada em unidades de metro cúbico por ano, à excepção da matéria-prima (Rolaria Fina, BRF e Madeira) que

chega ao grupo e que é contabilizada em tonelada por ano, utilizando-se para conversão de unidades, o valor de densidade determinado internamente na Omnipellets.

A zona de VRF recebeu a rolaria fina e a BRF, sabendo que esta não sofre qualquer transformação conclui-se que o que entra é igual ao que sai.

Com o volume de vendas e de consumo interno dos finos de estilha determinou-se a sua massa, com auxílio da densidade. A estilha com casca foi determinada pela subtração entre a quantidade de rolaria fina e finos de estilha.

Para simplificação de cálculos, mais uma vez, juntou-se a zona da Serração com a das Paletes, uma vez que se tratam de zonas de funcionamento em sequência e possuem o mesmo tipo de subprodutos.

A quantidade de paletes em tonelada por ano foi determinada sabendo o número de unidades produzidas e admitindo que uma paleta pesa em média 25 quilos.

Uma vez que a estilha vendida é uma mistura da estilha com e sem casca, a massa de estilha sem casca foi determinada subtraindo o volume da estilha com casca ao volume total vendido de estilha, convertendo o resultado para massa.

As quantidades mássicas da casca, dos finos de casca e do serrim foram determinadas pela conversão dos respectivos volumes.

Como referido no Capítulo 3 os retestos são resultantes da Serração + Paletes e da Nelsimar, não sendo contabilizado o que resulta de cada unidade, mas sim o total. Admitindo-se assim uma produção por parte da Serração + Paletes, de forma a repartir a produção de retestos pelas três unidades.

A caldeira a biomassa existente na zona das Paletes é alimentada com Finos de Estilha, correspondente ao volume de uma pá carregadora, converteu-se para consumos mássicos sabendo que a unidade funciona 24 horas por dia, 7 dias por semana durante 11 meses por ano. A partir do teor de cinzas dos finos de estilha determinou-se a quantidade de cinzas produzidas.

Para efeitos de cálculo considerou-se que todos os perfis de madeira são comercializados pela Nelsimar, quando na verdade são comercializados pelas zonas das Paletes e da Nelsimar. A quantidade de aparas de madeira foi determinada por conversão do volume produzido.

A quantidade de retestos produzidos na Nelsimar resulta da subtração entre a quantidade total destes com a massa produzida na Serração + Paletes. Subtraindo a quantidade de aparas de madeira e retestos ao total de perfis de madeira que dão entrada na Nelsimar obtém-se a respectiva produção de madeira valorizada.

As matérias-primas utilizadas pela Omnipellets podem ser estilha, ou serrim ou estilha + serrim, em que a quantidade a alimentar difere consoante o tipo. Na produção de *pellets* pretende-se obter um caudal de serrim seco à saída do secador com um teor de humidade de 12% (valor admitido para cálculo e estabelecido pelo fornecedor do secador).

Como referido no subcapítulo 4.1.1. a matéria-prima após a entrada no processo passa por um crivo onde existe rejeição de material, os grossos. Uma vez que não foi possível contabilizar estes desperdícios, admitiram-se as percentagens de perdas no crivo de forma a determinar o caudal de entrada de cada tipo de matéria-prima, bem como contabilizar a saída dos grossos.

A informação referente à quantidade de BRF necessária foi disponibilizada pelo fornecedor da fornalha a biomassa.

A capacidade máxima de produção de *pellets*, tendo em conta o horário laboral pretendido obtém-se a produção anual. A quantidade de cinzas resultantes da queima na fornalha foi determinada com base no teor de cinzas da BRF e na alimentação desta à fornalha.

Na Figura 4.35 encontra-se a ilustração e a contabilização das entradas e saídas de biomassa no Grupo Martos descritas neste subcapítulo. Enquanto na Figura 4.36 se apresenta um esquema da contabilização das entradas e saída de biomassa, tendo já em conta a integração total dos produtos entre as unidades do Grupo.

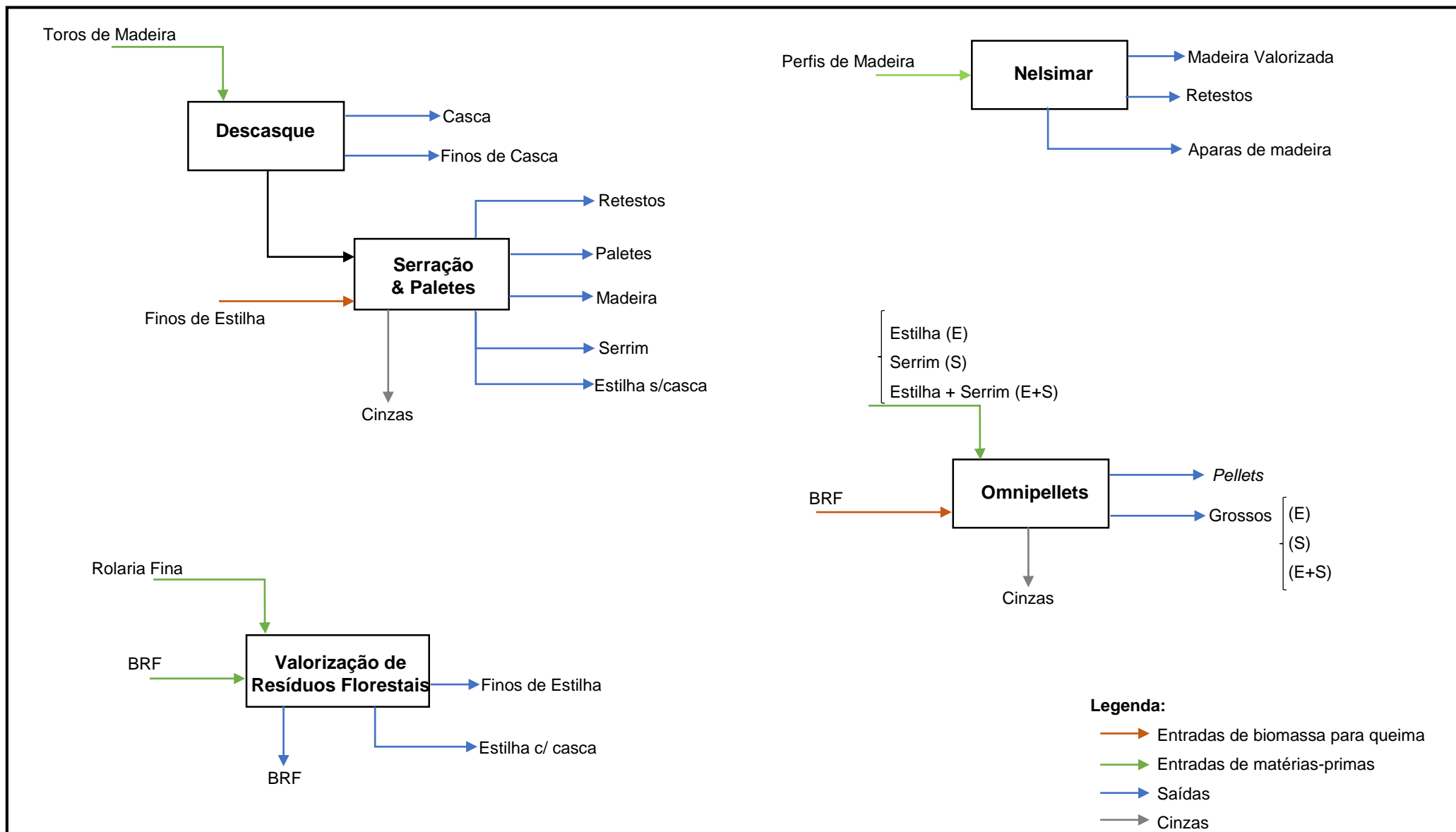


Figura 4.35 – Esquema representativo de entradas e saídas de biomassa no Grupo Martos.

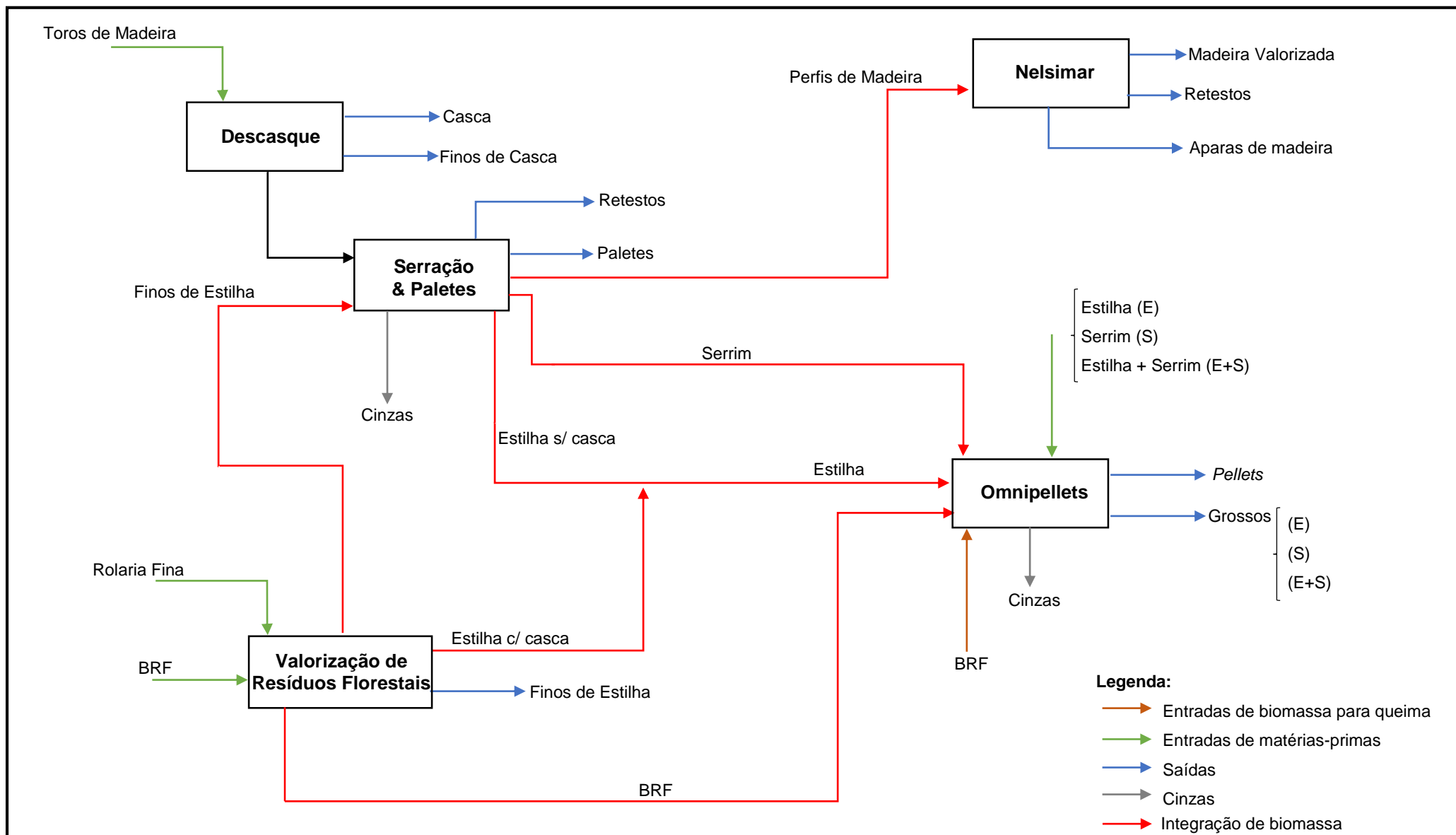


Figura 4.36 - Esquema representativo de entradas, saídas e integrações de biomassa no Grupo Martos.



As quantidades determinadas para os produtos da Martos são apresentadas na Tabela 4.7 como disponibilidade.

De acordo com o que foi referido anteriormente, os dois tipos de estilha produzidos são vendidos em conjunto, numa mistura designada por estilha. De forma a obter o consumo interno de cada tipo de estilha, determinou-se a percentagem mássica e volúmica da mistura de venda, com recurso às disponibilidades anteriormente calculadas.

Aplicou-se a mesma metodologia para a determinação da composição da mistura de estilha + serrim conseguindo-se prever o consumo de cada tipo de biomassa por parte da Omnipellets.

A Tabela 4.7 resume as características dos principais produtos resultantes do Grupo Martos. A maior parte destes parâmetros foram recolhidos de análises realizadas no Laboratório de Biocombustíveis Sólidos do Centro da Biomassa para a Energia (CBE) a pedido da Omnipellets. Alguns teores de humidades foram determinados no laboratório interno da Omnipellets, sendo os restantes valores retirados da literatura.

Apresenta-se também as possíveis aplicações dos vários tipos de produtos produzidos no Grupo Martos.

**Tabela 4.7 – Características, disponibilidades, preços e possíveis aplicações dos produtos do Grupo Martos.**

<b>Tipo</b>	<b>PCS (MJ/Kg)</b>	<b>PCI (MJ/Kg)</b>	<b>Humidade (%)</b>	<b>Teor de Cinzas (%)</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Paletes</b>	-	-	-	-	Universal
<b>Serrim</b>	20,3	19,0	51	0,5	<i>Pellets</i>
					Camas de animais
<b>Estilha s/ casca</b>	19,8	18,2	53	0,6	<i>Pellets</i>
					Queima
					MDF
<b>Estilha c/ casca</b>	19,9	18,5	52	0,8	<i>Pellets</i>
					Queima
					MDF
<b>Finos de Estilha</b>	-	18,0	51	0,9	Queima
<b>Casca</b>	-	19,2 [21]	50	3,8 [21]	Decoração jardins
<b>Finos de Casca</b>	-	19,0 [21]	47	3,8 [21]	Queima
<b>BRF</b>	20,9 [45]	19,4 [45]	60	2,2 [45]	Queima
<b>Retestos</b>	-	-	12	-	MDF
<b>Aparas de madeira</b>	-	-	12	-	Camas de animais
					<i>Pellets</i>
<b><i>Pellets</i></b>	20,2	18,8	6,6	0,6	Geração de energia térmica
<b>Madeira Valorizada</b>	-	-	-	-	Mobília de exterior
					Decks

(1) – Valor referente à mistura de estilha + serrim considerada como matéria-prima na Omnipellets.

Analisando a possível integração de produtos da Martos no processo de produção de *pellets*, verifica-se que as quantidades de estilha, de serrim, bem como a de BRF, resultante das unidades de VRF, Serração e Paletes não são suficientes para satisfazer as necessidades por parte da Omnipellets.

A diferença entre a necessidade por parte da Omnipellets e a capacidade de resposta da Martos pode ser solucionada de três maneiras:

- por aquisição de estilha e/ou serrim a fornecedores exteriores ao Grupo;
- por aumento da capacidade de madeira a tratar na zona de VRF, bem como o aumento do seu horário laboral, que implicaria um aumento na recepção da rolaria fina, que poderia ser satisfeito aumentando o raio actual de aquisição de biomassa florestal;
- pela aquisição de uma nova estilhadora com capacidade de transformar os retestos em estilha, havendo a necessidade de gerir melhor a composição destes.

Em relação ao consumo da BRF para queima a Martos tem capacidade de resposta de cerca de metade da necessidade da unidade de *pellets*. A quantidade em falta pode ser compensada pela utilização de produtos dentro do Grupo, embora de maior valor comercial, como por exemplo a utilização de finos de estilha e de casca e até mesmo a utilização da casca.

## 5. PROPOSTAS DE CENÁRIOS DE INTEGRAÇÃO

Este capítulo consiste numa primeira abordagem ao novo conceitos de *Pinch* de Biomassa (*BioPinch*). Utilizando os dados referentes à produção e consumo do Grupo Martos, procedeu-se também a simulações em *Aspen Plus*® de vários cenários de optimização energética do processo de produção da Omnipellets, bem como à simulação da integração deste processo numa unidade de produção de energia eléctrica.

### 5.1. *Pinch* da Biomassa

Com o intuito de minimizar o consumo dos recursos disponíveis no Grupo Martos recorreu-se a uma abordagem inovadora, tendo por base a metodologia utilizada na minimização do consumo de hidrogénio contaminado com várias impurezas [46].

De forma a obter a representação gráfica da minimização de consumo, esboçam-se os perfis da impureza da fonte e do destino que se pretende satisfazer, em função dos respectivos caudais.

À intersecção das duas curvas representadas a do recurso e a da necessidade, designa-se como *Pinch Point*, que se traduz no consumo mínimo do recurso disponível à semelhança da metodologia aplicada ao aproveitamento da energia térmica [47].

A aplicação destas metodologias é feita iterativamente, efectuando-se assim análises independentes a cada impureza, com recurso a uma folha de cálculo em *Excel*.

Uma vez que neste trabalho se pretende aplicar esta metodologia a recursos com origem na biomassa, designou-se a presente abordagem como o *BioPinch* (*Pinch* da Biomassa).

Considerou-se como disponibilidade os recursos disponibilizados pela Martos e a procura como as necessidades por parte dos clientes. O teor de cinzas e o teor de humidade foram as impurezas consideradas neste estudo, embora para alguns produtos, estes parâmetros não façam parte dos requisitos impostos pelos clientes. Nesses casos foi admitido um valor com base nos teores médios.

Este estudo foi realizado para dois cenários, considerando a situação do Grupo Martos antes e após a implementação da unidade de produção de *pellets*.

#### 5.1.1. Cenário antes da implementação da Omnipellets

Este cenário refere-se à situação prévia à implementação da produção de *pellets*. Na Figura 5.1 encontra-se o *Pinch* da Biomassa referente à análise do teor de cinzas.

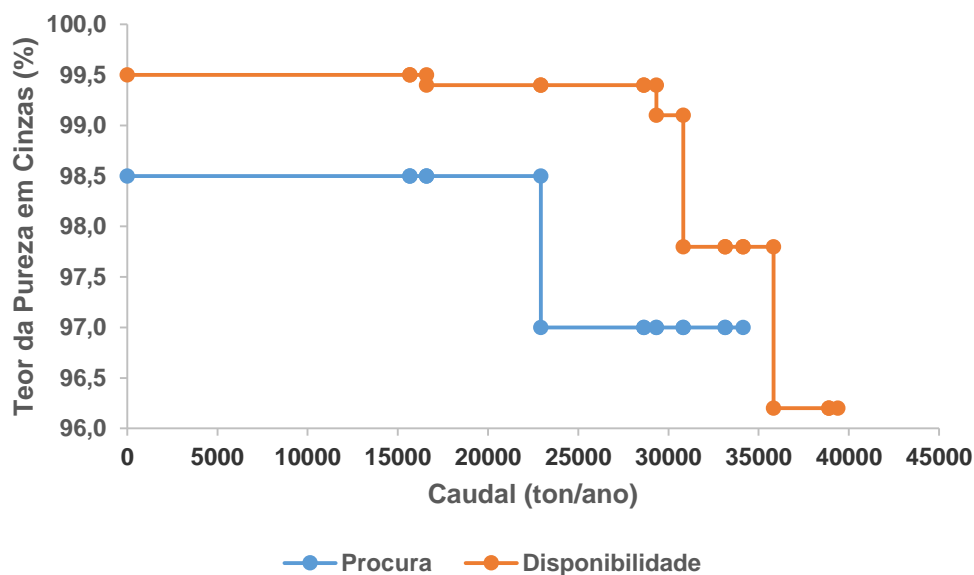


Figura 5.1 – Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em cinzas, antes da implementação da Omnipellets.

Da análise da figura anterior é possível constatar-se que ao nível do teor de cinzas a necessidade foi satisfeita, obtendo-se alguns excedentes. Observa-se ainda a ausência de *Pinch*, uma vez que as duas curvas não se intersectam.

Como é visível na Figura 5.2, representando-se a curva do excedente coloca-se em evidência o excesso do recurso disponibilizado. Também aqui verifica-se a inexistência do *BioPinch*, visto que a representação gráfica não intersecta o eixo das ordenadas

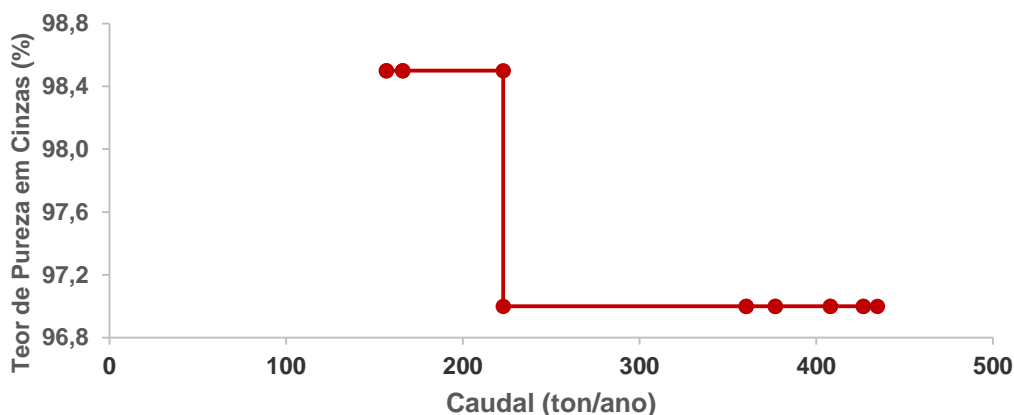


Figura 5.2 – Representação gráfica do déficit do teor de pureza em cinzas entre o recurso e a necessidade antes da instalação da Omnipellets.

Nas Figura 5.3 e Figura 5.4 é possível observar que a necessidade relativamente ao teor de humidade foi satisfeita. Não se visualiza também a existência do Ponto de *Pinch*.

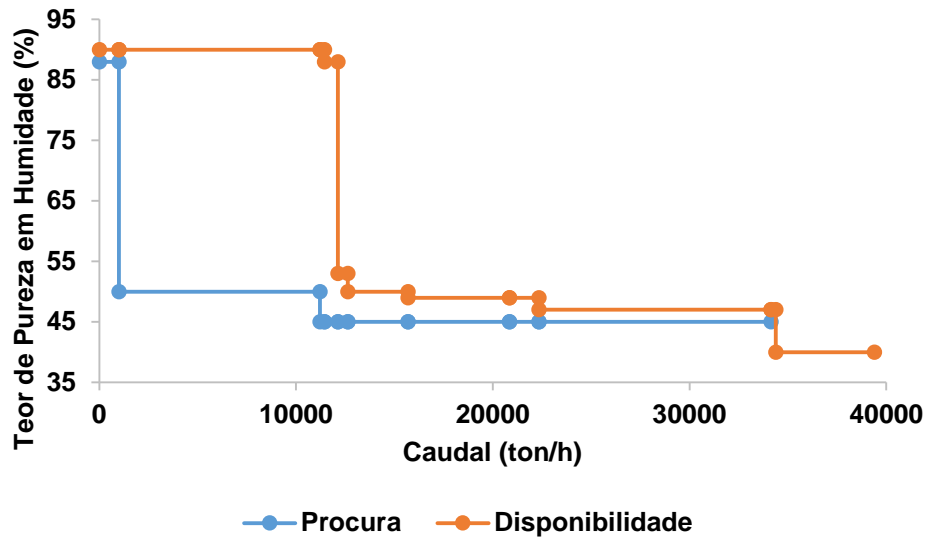


Figura 5.3 - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em humidade, antes da implementação da Omnipellets.

À semelhança da análise do teor de cinzas na Figura 5.4 encontra-se o sobranço dos recursos disponibilizados para o teor de humidade.

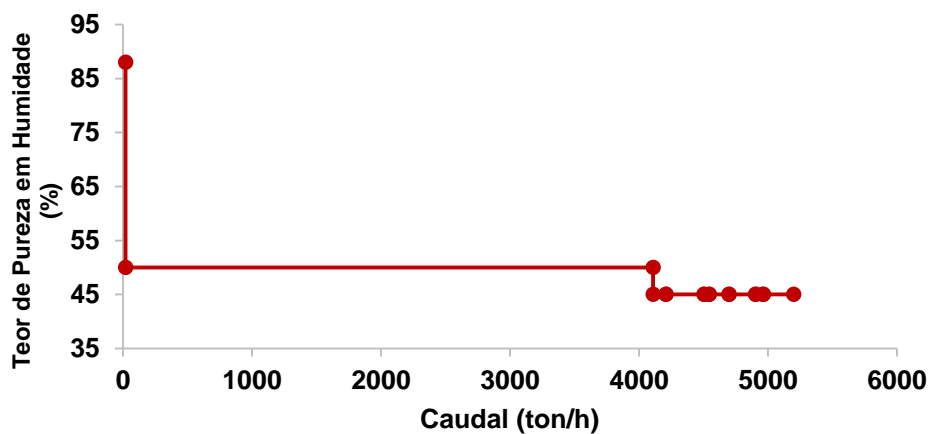


Figura 5.4 - Representação gráfica do défice do teor de pureza em humidade entre o recurso e a necessidade antes da instalação da Omnipellets.

Apresenta-se na Figura 5.5 a representação de procura/disponibilidade atendendo aos dois critérios, verifica-se que neste caso o teor de humidade é determinante.

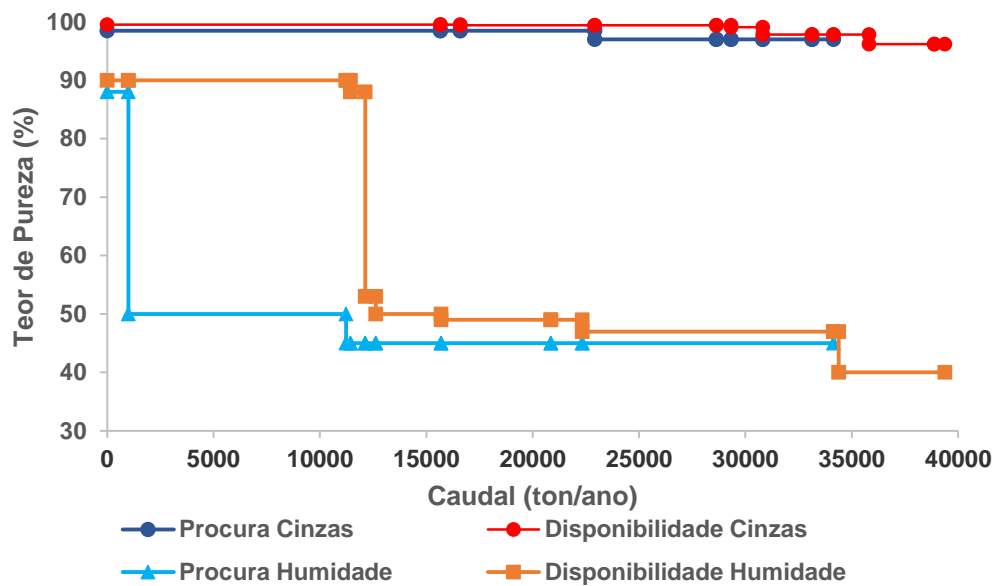


Figura 5.5 - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza de cinzas e em humidade, antes da implementação da Omnipellets.

### 5.1.2. Cenário após a implementação da Omnipellets

Este segundo cenário refere-se à situação após a instalação da unidade Omnipellets.

De seguida apresenta-se o *Pinch* da Biomassa referente à análise do teor de cinzas. Analisando a Figura 5.6 é possível constatar-se que com a implementação da produção de *pellets* não é possível responder totalmente à procura por parte dos clientes a nível do teor de cinzas. Do gráfico observa-se que não se consegue satisfazer a necessidade de um dos produtos em cerca de 2000 ton/h, mas que cerca de 5000 ton/ano da procura pode ser satisfeita, se desprezarmos a quantidade não satisfeita. É possível ainda verificar-se a existência do *Pinch* pela intersecção entre as duas curvas. Da Figura 5.7 constata-se, pelo valor de caudais negativos apresentados, a falta de resposta face à procura por parte dos clientes. Os recursos não aproveitados também se encontram representados, embora não seja visível devido à escala do gráfico.

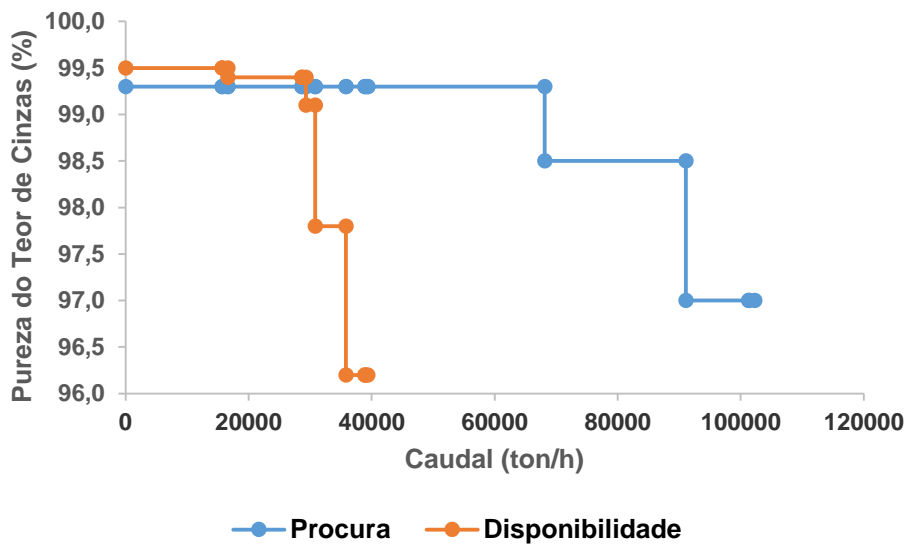


Figura 5.6 - Representação do BioPinch de Biomassa relativamente ao teor da pureza em cinzas, após implementação da Omnipellets.

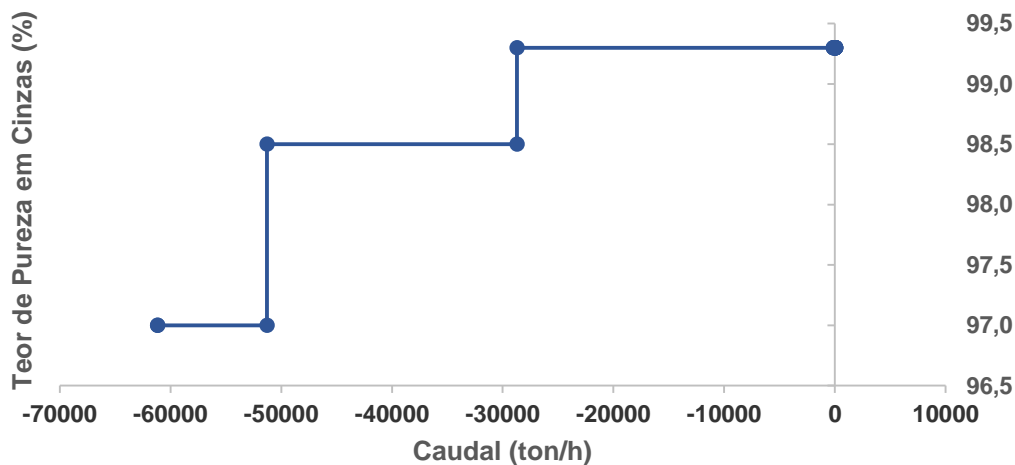


Figura 5.7 - Representação gráfica do déficit do teor de pureza em cinzas entre o recurso e a necessidade após a instalação da Omnipellets.

Analisando o teor de humidade verifica-se que só se consegue responder a cerca de metade da necessidade imposta inicialmente. No entanto se desprezarmos a outra metade e deslocarmos a curva da disponibilidade para a direita, observa-se que é possível satisfazer, quase ou mesmo, na totalidade a procura. É possível ainda constatar-se a existência do ponto *Pinch* na zona do consumo.

Na Figura 5.9 encontra-se evidenciada a não resposta, a nível do teor de humidade, à procura pelos valores dos caudais. E observa-se a existência do *BioPinch* para uma pureza em teor de humidade de 90%.

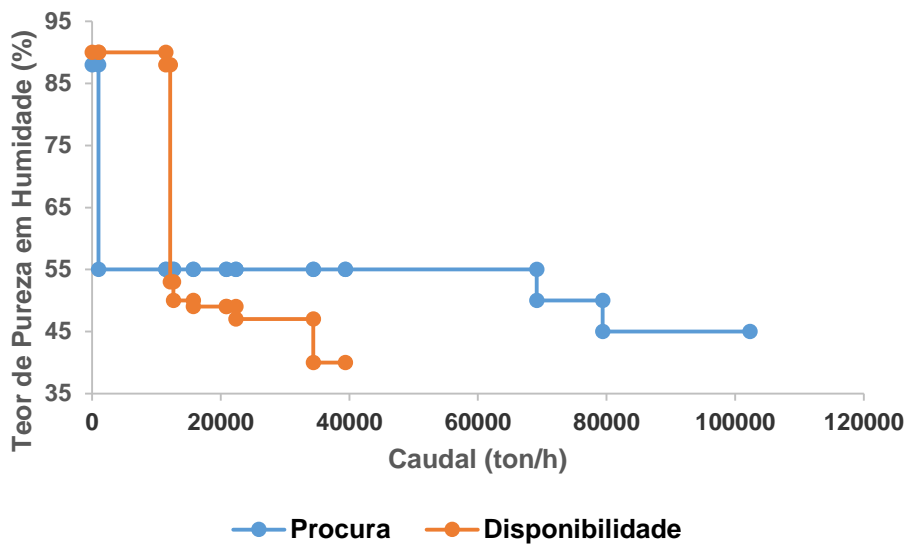


Figura 5.8 - Representação do BioPinch relativamente ao teor da pureza em humidade, após a implementação da Omnipellets.

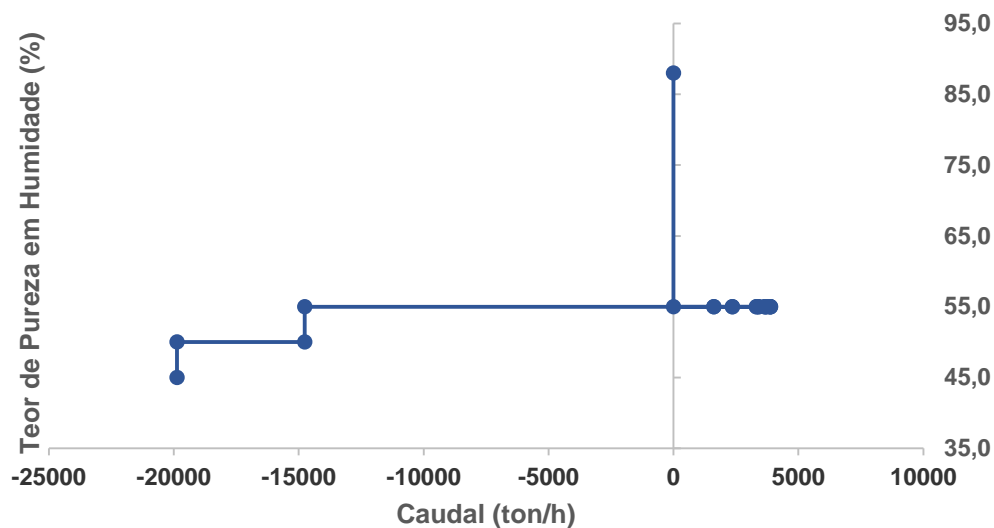


Figura 5.9 - Representação gráfica do défice do teor de pureza em humidade entre o recurso e a necessidade após a instalação da Omnipellets.

A título de exemplo, uma vez que os teores são analisados de forma independente, encontram-se representados na figura seguinte os quatro gráficos anteriormente analisados.



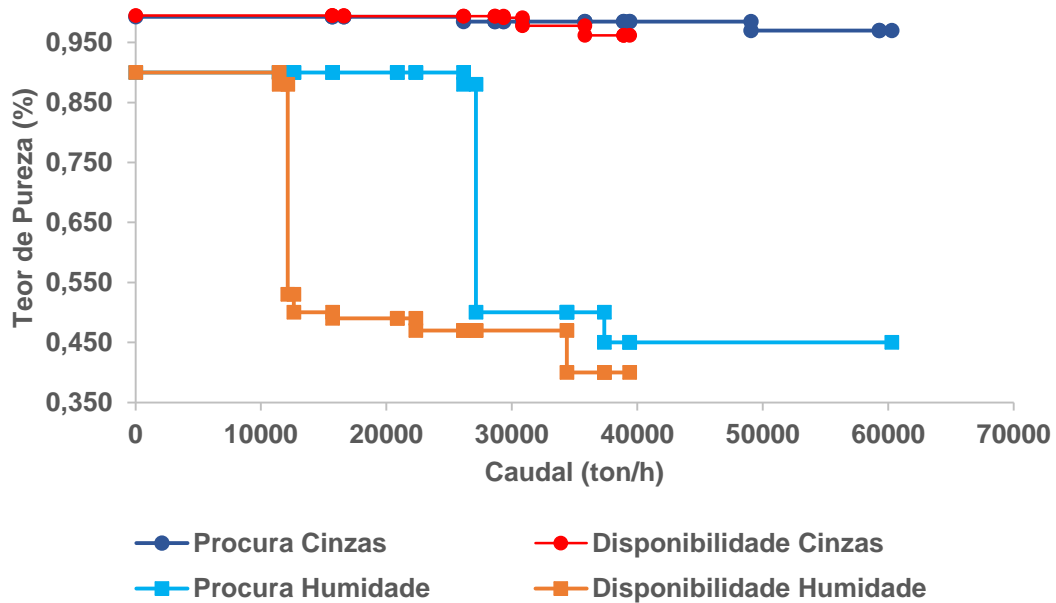


Figura 5.10 - Representação do *Pinch* de Biomassa relativamente ao teor da pureza de cinzas e em humidade, após a implementação da *Omnipellets*.

Como se pode observar juntando as representações dos dois teores em estudo não é possível analisar o comportamento do teor de cinzas, uma vez que este se encontra num intervalo muito pequeno de percentagens de pureza, não sendo assim possível tirar conclusões válidas desta representação.

A representação em termos de **Biopinch**, que foi realizada nesta dissertação representa uma tentativa de transpor para a biomassa, a metodologia do Ponto de Estrangulamento aplicada para a energia, o hidrogénio e a água. Haverá ainda muito trabalho futuro nesta área, nomeadamente introduzindo o preço da biomassa e fazendo a maximização da utilização da biomassa segundo os vários critérios.

## 5.2. Simulações Caso Base (*Omnipellets*)

Com os dados recolhidos durante o acompanhamento do arranque da actividade de produção de *pellets*, e com a informação cedida pelos fornecedores dos equipamentos simulou-se o processo de secagem da unidade *Omnipellets* no simulador *Aspen Plus®* de forma a estudar os consumos térmicos e possíveis cenários, com e sem integração energética.

### 5.2.1. Situação actual

Numa primeira etapa, foi realizada a simulação da unidade de *Omnipellets* actual. Para tal, foi necessário definir a composição da biomassa de queima, bem como da biomassa a secar, neste caso do serrim verde [48]. De forma a simular o processo de combustão [49] [50] da fornalha existente na fábrica, recorreu-se ao uso de um **RYield** com as mesmas condições operatórias desta, impondo apenas uma perda de calor de forma a atingir a temperatura dos gases de exaustão pretendida. A humidade da biomassa foi simulada pela introdução de uma corrente de água.

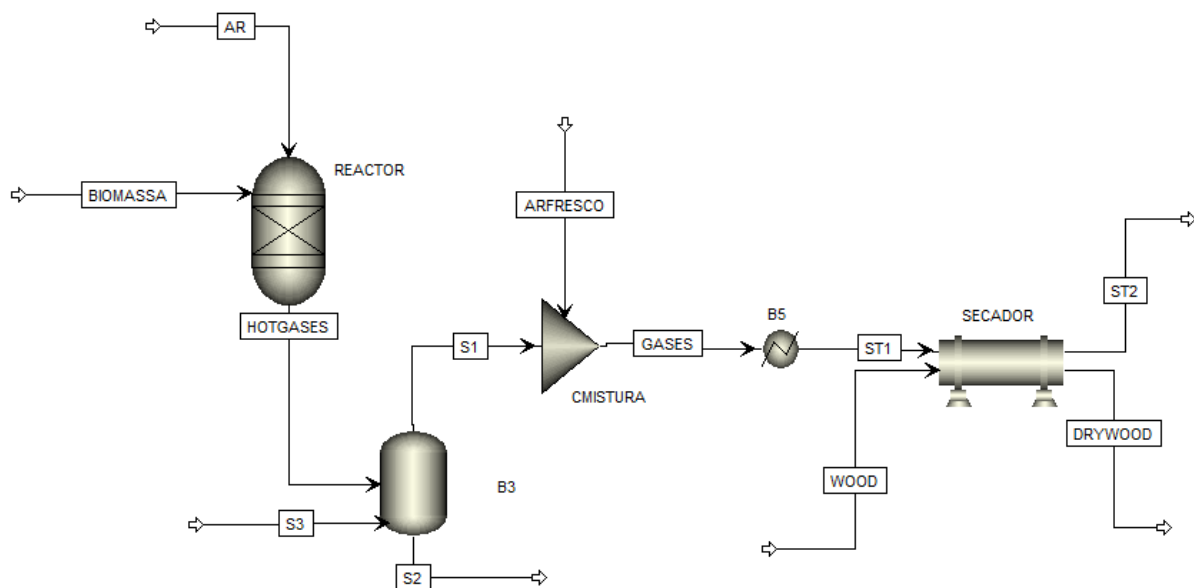
De seguida representou-se a câmara de mistura por um **Mixer**, onde se considerou uma razão de 1:1 entre a entrada de ar fresco e a corrente dos gases quentes provenientes da fornalha. Sabendo que os gases entram entre 300 e 350°C no secador impôs-se, na câmara de mistura uma perda de calor para que estes atingissem a temperatura de 350°C à entrada do secador.

O equipamento escolhido para simular o secador foi um **Dryer Rotary** [52], especificando-se apenas a humidade do serrim à saída. Também este equipamento possui perdas de calor associadas, para reproduzir a temperatura de saída dos gases.

Apresenta-se na Figura 5.11. uma representação do diagrama usado na simulação e na Tabela 5.1 os dados utilizados na simulação do caso base.

**Tabela 5.1** - Dados referentes à simulação da unidade Omnipellets no simulador Aspen Plus®.

$F_M$ Biomassa (UM)	22880
$H_{Biomassa}$ (%)	44
$F_M$ Ar secundário + primário (UM)	160030
$F_M$ Gases quentes (UM)	182910
$F_M$ Ar Fresco (UM)	161161
$H_{Ar}$ (%)	0
$F_M$ Serrim Húmido (UM)	91000
$H_{Serrim\ Verde}$ (%)	40
$F_M$ Água Evaporada (UM)	30420
$H_{Serrim\ Seco}$ (%)	10
$F_M$ Serrim Seco (UM)	60671
$P$ (bara)	0,9



**Figura 5.11** – Simulação caso base com os dados da Tabela 5.1 obtida no Aspen Plus®.

A tabela Tabela 5.2 apresenta os principais resultados obtidos na simulação.

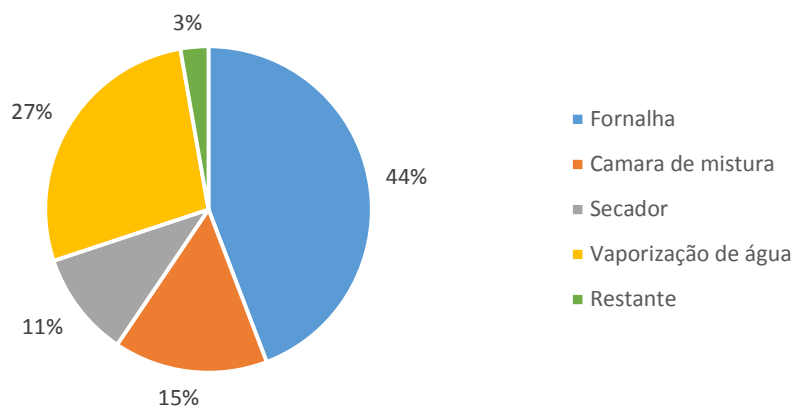
**Tabela 5.2** - Resultados da simulação caso base da unidade Omnipellets no simulador *Aspen Plus®*.

<b>T<sub>SF</sub> (°C)</b>	762
<b>ST1 (°C)</b>	350
<b>ST2 (°C)</b>	70
<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>	58,3
<b>Q<sub>fornalha</sub> (UP)</b>	22,1
<b>Q<sub>c.mistura</sub> (UP)</b>	10,4
<b>Q<sub>secador</sub> (UP)</b>	6,5
<b>Q<sub>vaporização</sub> (UP)</b>	18,2

Os valores das perdas de energia nos equipamentos apresentados na Tabela 5.2 foram calculados de forma a representar as condições operatórias referentes ao ensaio T6.

Sabendo o poder calorífico inferior da BRF, a biomassa de queima utilizada, representou-se graficamente a percentagem do consumo térmico da energia libertada por parte da BRF, ao longo do processo de secagem.

Analisando a Figura 5.12 verifica-se que existe uma grande perda de energia térmica na fornalha e na câmara de mistura. E conclui-se que da energia produzida na queima da BRF apenas 27% é utilizada no processo de secagem, perdendo-se praticamente a restante energia ao longo dos equipamentos.



**Figura 5.12** - Representação percentual do consumo térmico da energia produzida pela queima de BRF ao longo do processo de secagem para o caso base.

Procedeu-se então à realização de análises de sensibilidade das perdas de calor na fornalha ( $Q_{fornalha}$ ) e na câmara de mistura ( $Q_{c.mistura}$ ) e do caudal de ar fresco que entra na câmara de mistura ( $F_{AR}$ ) de forma a estudar o efeito destas variações no comportamento do processo de secagem representadas a cor laranja na Figura 5.13.

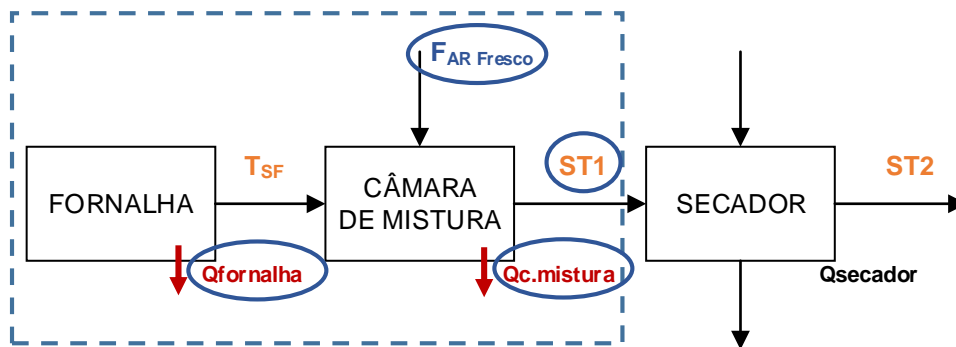


Figura 5.13 - Esquema representativo das variáveis consideradas na análise de sensibilidade.

A primeira análise consistiu em fixar o valor do caudal de ar fresco e a temperatura ST1, realizando variações de  $\pm 10$  e  $\pm 20\%$  na perda de calor na fornalha, estando o valor do caso base representado a *bold* na Tabela 5.3

Tabela 5.3 – Análise de sensibilidade à perda de calor na fornalha  $Q_{fornalha}$ , com valores de  $ST1=350^{\circ}C$  e  $F_{M\ Ar\ Fresco}=161161$  UM.

$Q_{fornalha}$ (UP)	$Q_{c.mistura}$ (UP)	$T_{SF}$ ( $^{\circ}C$ )	$ST2$ ( $^{\circ}C$ )	$T_{Ponto\ de\ Orvalho}$ ( $^{\circ}C$ )
16,9	15,6	846	70	58,3
18,2	13,0	804	70	58,3
<b>22,1</b>	<b>10,4</b>	<b>762</b>	<b>70</b>	<b>58,3</b>
24,7	7,8	720	70	58,3
27,3	5,2	677	70	58,3

Da Tabela 5.3 conclui-se que fixando o caudal de ar à entrada da câmara de mistura e a temperatura à entrada do secador (ST1), a soma das perdas da fornalha e da camara de mistura é sempre constante. Quando uma aumenta a outra diminui de forma a reproduzir sempre o mesmo valor de ST1. Observa-se também que à medida que a perda de energia térmica na fornalha aumenta a temperatura dos gases de exaustão diminui, como seria expectável. A temperatura da saída da fornalha é também variável com o tempo e pode depender da quantidade de ar secundário adicionado, que não é variável nesta simulação.

Devido à incerteza do valor do caudal de ar fresco e do valor da perda de calor na câmara de mistura apresenta-se na Tabela 5.4, para uma perda de calor na fornalha constante e para uma temperatura de ST1 fixa de  $350^{\circ}C$ , uma análise de sensibilidade à variação do caudal de ar fresco. Como seria de esperar quando este aumenta, a perda de energia térmica na câmara de mistura diminui e da temperatura à saída do secador, ST2, aumenta. É possível constatar que para valores de caudais de ar muito baixos, novamente, a temperatura ST2 aproxima-se da temperatura do ponto de orvalho.

**Tabela 5.4** - Análise de sensibilidade ao caudal de ar fresco ( $F_{M \text{ Ar Fresco}}$ ), com valores de  $Q_{\text{fornalha}}=22,1$  UP e  $ST1=350^{\circ}\text{C}$ .

<b>F<sub>AR</sub> (UM)</b>	<b>Q<sub>c.mistura</sub> (UP)</b>	<b>ST2 (°C)</b>	<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>
94809	16,9	60	62,2
113763	14,3	59	61,0
132730	13,0	59	59,9
<b>161161</b>	<b>10,4</b>	<b>70</b>	<b>58,3</b>
170651	9,1	76	57,8
189605	7,8	87	56,9

Por fim, realizou-se uma nova análise de sensibilidade ao caudal de ar fresco, mas com valores constantes do  $Q_{\text{fornalha}}$  e do  $Q_{\text{c.mistura}}$  determinados para o caso base, repetindo as mesmas variações de caudal que na análise anterior.

**Tabela 5.5** - Análise de sensibilidade ao caudal de ar fresco ( $F_{M \text{ Ar Fresco}}$ ), com valores de  $Q_{\text{fornalha}}=22,1$  UP e  $Q_{\text{c.mistura}}=10,4$  UP.

<b>F<sub>AR</sub> (UM)</b>	<b>ST1 (°C)</b>	<b>ST2 (°C)</b>	<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>
94809	421	78	62,2
113763	398	75	61,0
132730	377	73	59,9
<b>161161</b>	<b>350</b>	<b>70</b>	<b>58,3</b>
170651	342	69	57,8
189605	327	67	56,9

Pela análise da tabela anterior observa-se que fixando o valor das perdas de calor da fornalha e da câmara de mistura o aumento do caudal de ar fresco implica uma diminuição proporcional da temperatura ST1 e ST2 como seria de esperar. No entanto verifica-se que por questões de segurança a temperatura à entrada do secador não deve exceder os  $350^{\circ}\text{C}$ , o que implica que não é possível reduzir muito a alimentação de ar fresco. Ao contrário da análise anterior, para caudais de ar inferiores a temperatura ST2 não se encontra perto dos valores do ponto de orvalho, porque neste caso permitiu-se que ST1 fosse maior que  $350^{\circ}\text{C}$ .

Fez-se também uma análise ao teor de humidade no ar de combustão, e no ar fresco da câmara de mistura (Tabela 5.6), para mostrar a importância que este parâmetro pode ter. Verifica-se que para elevados teores de humidade, com a simulação realizada com estas perdas fictícias não seria possível funcionar com o secador. Não estamos a ter em conta na simulação que os caudais de ar primário e secundário, bem como o ar fresco da camara teriam obrigatoriamente que ser alterados.

As perdas consideradas, nesta simulação simplificada, foram ajustadas na simulação, mas o que se poderá afirmar é que a unidade no seu conjunto tem um determinado valor de perda e será impossível quantificar as perdas específicas em cada equipamento. Para tal, seria necessário ter outro tipo de medições no local.

**Tabela 5.6** – Análise de sensibilidade à percentagem de humidade na entrada de ar de combustão e de ar fresco para  $F_{M\ Ar\ Fresco} = 16161\ UM$ ,  $Q_{fornalha} = 22,1\ UP$ ,  $Q_{c.mistura} = 10,4\ UP$  e  $Q_{secador} = 6,5\ UP$ .

<b>%H <math>F_{M\ AR}</math></b>	<b>%H <math>F_{M\ AR\ FRESCO}</math></b>	<b>ST1 (°C)</b>	<b>ST2 (°C)</b>	<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>
0	0	350	70	58
	40	341	62	59
	60	337	59	59
	80	333	59	59
	100	329	59	60
40	0	309	57	58
	40	300	57	59
	60	296	57	59
	80	292	57	60
	100	288	57	60
60	0	290	56	59
	40	281	56	59
	60	277	56	59
	80	272	56	60
	100	269	56	60
80	0	271	54	59
	40	262	54	59
	60	258	55	59
	80	253	55	60
	100	250	55	60
100	0	255	53	59
	40	245	53	59
	60	241	53	59
	80	237	53	60
	100	234	53	60

### 5.2.2. Cenários de Integração no Caso Base

Tendo em conta as necessidades térmicas dentro do Grupo Martos procedeu-se ao estudo de um cenário de integração de forma a satisfazer o consumo térmico por parte das estufas utilizadas no tratamento térmico das paletes.

Colocou-se ainda outra hipótese de integração, a produção de vapor de água para substituir a água injectada na prensa durante a operação de peletização.

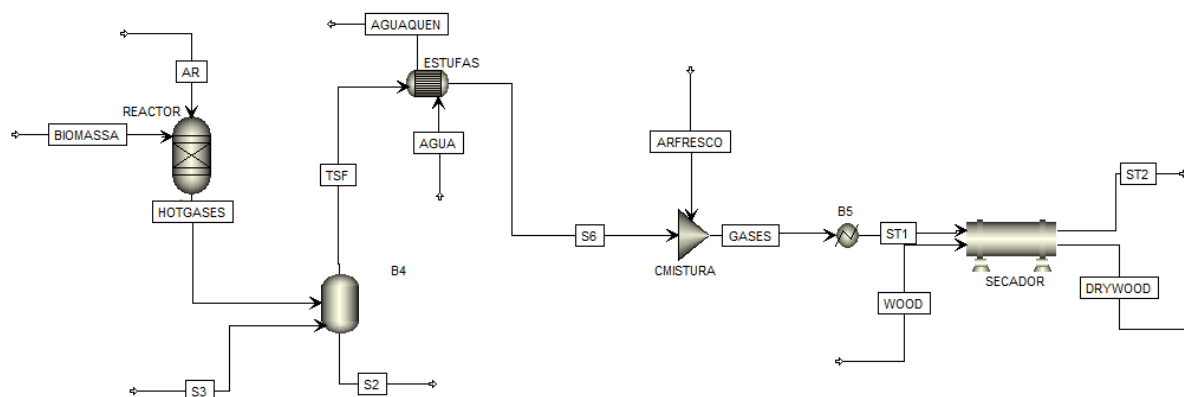
### 5.2.2.1. Produção de Água Quente para Aquecimento nas Estufas

Foi estudado o cenário de aproveitamento da energia da fornalha para produzir água quente para as estufas, descartando-se a necessidade da caldeira a biomassa.

Para tal, na simulação previamente feita da unidade de produção de *pellets*, adicionou-se um permutador de caixa e tubos entre a fornalha e a câmara de mistura (Figura 5.14), definiu-se a corrente de água a aquecer com os dados da Tabela 5.7, exigiu-se uma temperatura da água quente final de 110°C e não se alterou mais nenhum parâmetro da simulação prévia, referida como caso base.

**Tabela 5.7** - Dados utilizados na simulação da unidade Omnipellets com produção de água quente para aquecimento das estufas.

<b>F<sub>M</sub> água (UM)</b>	858
<b>Q<sub>requerido estufas</sub> (UP)</b>	19,5
<b>T<sub>entrada</sub> (°C)</b>	90
<b>T<sub>saída</sub> (°C)</b>	110
<b>P (bar)</b>	2,5



**Figura 5.14** - Simulação caso base com integração do aquecimento da água das estufas, obtida no Aspen Plus®.

Na tabela seguinte encontram-se os resultados da simulação, fazendo variar o caudal de água e a temperatura de entrada e saída da água, para potenciar uma situação de integração.

**Tabela 5.8** - Resultados de simulações de produção de água quente com integração dos gases exaustão da unidade Omnipellets.

<b>Caudal água (UM)</b>	<b>T<sub>entrada</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>saída</sub> (°C)</b>	<b>ST1 (°C)</b>	<b>ST2 (°C)</b>	<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>
<b>858000</b>	<b>90</b>	<b>110</b>	<b>137</b>	<b>42</b>	<b>58,3</b>
858000	80	95	192	48	58,3
390000	80	95	279	55	58,3
130000	80	95	326	58	58,3
65000	80	95	338	60	58,3

Analisando a Tabela 5.8 verifica-se que a produção de água quente das estufas a partir dos gases quentes provenientes da fornalha, a uma temperatura de 762°C não é uma hipótese viável, uma vez que a temperatura ST2 apresenta valores abaixo da temperatura do ponto de orvalho. Evidentemente, que esta simulação tem fixa a temperatura de saída da fornalha e o caudal de ar fresco na camara de mistura. Este último deveria ser ajustado, até um determinado limite, para aumentar a temperatura de saída da camara. No entanto, a quantidade de calor que é necessária é muito elevada e não poderá ser obtida por integração.

### 5.2.2.2. Produção de Vapor de Água para a Operação de Peletização

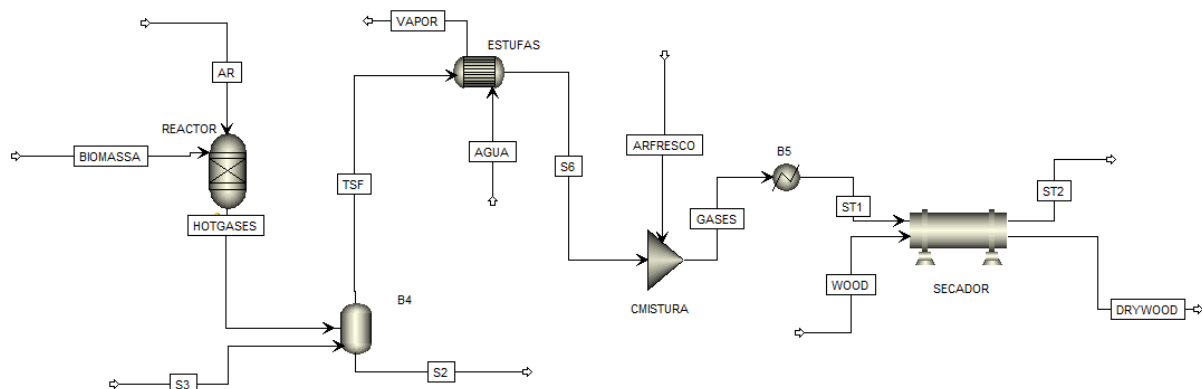
Actualmente na operação de peletização faz-se injeção de água no condicionador, mas como já abordado anteriormente no subcapítulo 4.2.1., o equipamento está preparado para receber injeção de vapor e não de água, conseguindo assim um melhor desempenho.

Esta simulação foi feita de forma semelhante à do caso anterior de integração, interpondo um permutador de calor antes da câmara de mistura (Figura 5.15).

Na falta de informação sobre o vapor nesta operação, admitiu-se que um caudal máximo necessário com as características apresentadas na Tabela 5.9 tendo em conta a água que é actualmente injectada.

**Tabela 5.9** - Dados admitidos e utilizados na simulação da unidade Omnipellets com produção de vapor de água para a operação de peletização.

<b><math>F_M</math> vapor (UM)</b>	390
<b><math>Q_{\text{requerido}}</math> vapor (UP)</b>	0,26
<b>Pressão (bar)</b>	3
<b><math>T_{\text{entrada}}</math> (°C)</b>	25
<b><math>T_{\text{saída}}</math> (°C)</b>	135



**Figura 5.15** - Simulação caso base com integração de produção de vapor, obtida no Aspen Plus®.

À semelhança do caso anterior, a tabela seguinte apresenta o resultado da simulação da produção de vapor com os dados da Tabela 5.10 a *bold*. Apresentam-se também os resultados da variação do caudal de entrada de água, de forma a analisar o comportamento dos restantes parâmetros na linha de secagem.



**Tabela 5.10** - Resultados de simulações de produção de vapor com integração dos gases exaustão da unidade Omnipellets.

<b>Caudal<sub>vapor</sub> (UM)</b>	<b>ST1 (°C)</b>	<b>ST2 (°C)</b>	<b>T<sub>Ponto de Orvalho</sub> (°C)</b>
<b>390</b>	<b>347</b>	<b>67</b>	<b>58,3</b>
650	345	66	58,3
1040	342	63	58,3
1300	341	62	58,3

Dos resultados apresentados na Tabela 5.10 conclui-se que é viável a utilização dos gases de exaustão da fornalha na produção de vapor para a operação de peletização, pois não influencia significativamente as condições operatórias do processo de secagem definidos na simulação inicial da Omnipellets. Da simulação é mesmo possível concluir que se poderia aumentar o caudal de vapor a produzir.

### 5.3. Cenários de Integração da Omnipellets com Produção de Energia Eléctrica e de Vapor

Neste subcapítulo procedeu-se ao estudo de uma possível integração de uma unidade de geração de energia eléctrica com uma unidade de produção de *pellets*.

Novamente recorreu-se ao simulador *Aspen Plus®*, iniciando a simulação com base num exemplo disponível no programa de produção de energia e cogeração, utilizando-se os dados referentes à Central Termoeléctrica de Biomassa de Terras de Santa Maria (CTBTSM), disponibilizados nos trabalhos [51] [53], e os da Omnipellets.

Realizaram-se dois cenários possíveis: um que integra parcialmente a unidade de produção de electricidade com uma unidade de produção de *pellets* fazendo o pré-aquecimento da água para as estufas; outro igual ao anterior mas com utilização directa do vapor sobranete para satisfazer a necessidade térmica de uma das estufas.

#### 5.3.1. Cenário 1

Com base no exemplo de uma unidade termoeléctrica disponibilizada no *Simulador Aspen Plus®* e com os dados obtidos da CTBTSM [53], prosseguiu-se com a simulação utilizando como fonte de calor os gases quentes resultantes da combustão da fornalha da Omnipellets.

Os gases quentes dão entrada numa sequência de quatro permutadores, existindo entrada de água no fim dessa mesma sequência, percorrendo um percurso inverso ao dos gases. A água aquece com a passagem por cada permutador, passando a vapor saturado à saída do penúltimo, resultando em vapor sobreaquecido à saída do último permutador.

O vapor sobreaquecido passa por uma turbina, onde se definiu uma perda de carga, obtendo-se assim energia eléctrica e vapor a baixa pressão. Este vapor é utilizado na integração para pré-aquecimento do ar alimentado à câmara de mistura e pré-aquecimento da água das estufas.

Na Tabela 5.11 encontram-se os dados utilizados e os resultados obtidos.

**Tabela 5.11** - Dados referentes à simulação 1 de produção de energia eléctrica e com integração da unidade Omnipellets.

<b>Gases</b>			
<b>Entrada</b>		<b>Saída</b>	
$F_{M \text{ Gases}} \text{ (UM)}$	182910	$F_{M \text{ Gases}} \text{ (UM)}$	182910
T (°C)	762	T (°C)	580
P (bara)	0,9	P (bara)	0,9
<b>Turbina</b>			
Energia (kW)		218	
<b>Propriedades do Vapor de Exaustão</b>			
$F_{M \text{ Vapor}} \text{ (kg/h)}$		1084	
T (°C)		94	
P (bar)		0,8	
<b>Água quente para estufas</b>		<b>Aquecimento de Ar</b>	
$F_{M \text{ água}} \text{ (UM)}$	858000	$F_{M \text{ Ar Fresco}} \text{ (UM)}$	131274
$T_{\text{inicial}} \text{ (°C)}$	75	$T_{\text{inicial}} \text{ (°C)}$	25
$T_{\text{final}} \text{ (°C)}$	80	$T_{\text{final}} \text{ (°C)}$	75
$P_{\text{inicial}} \text{ (bar)}$	2	$P_{\text{inicial}} \text{ (bar)}$	1,2
$P_{\text{final}} \text{ (bar)}$	2	$P_{\text{final}} \text{ (bar)}$	1,2
Q (UP)	5,2	Q (UP)	1,82

Observando os resultados obtidos, verifica-se que a integração da geração de electricidade com uma unidade de *pellets* poderá ser viável, uma vez que se obteve gases quentes com temperaturas dentro dos valores do caso base, ou seja temperatura de 384°C após a câmara de mistura. No entanto esta integração requer um estudo mais aprofundado sobre as perdas efectivas na câmara de mistura e a razão de caudal ar fresco/gases quentes.

A restante energia térmica que era necessário remover por condensação do vapor pode ser utilizada para o aquecimento do ar alimentado à câmara de mistura e para o pré-aquecimento da água quente para as estufas.

A restante energia térmica que era necessário remover por condensação do vapor (8,45 UP) pode ser utilizada para o aquecimento do ar alimentado à câmara de mistura (1,82 UP) e no pré-aquecimento da água quente para as estufas (5,2 UP). Só o restante, 1,43 UP, seria retirados por recurso a uma utilidade fria exterior. Na opção sem integração energética, com produção exclusiva de electricidade, usando uma turbina com extração a 0,5 bara, seria possível obter 234 kWe, porque se permite o abaixamento da temperatura de extração do vapor da turbina. Nesta hipótese, o vapor de saída teria de ser condensado por recurso a uma utilidade exterior, correspondente aos 8,45 UP.

### 5.3.2. Cenário 2

Este cenário é baseado no cenário 1, mas substituindo o pré-aquecimento da água de estufas pela utilização directa da condensação do vapor numa das três estufas.

Na Tabela 5.12 apresenta-se os dados utilizados, bem como os resultados obtidos.

**Tabela 5.12** - Dados referentes à simulação 2 de produção de energia eléctrica e com integração da unidade Omnipellets.

<b>Gases</b>			
<b>Entrada</b>		<b>Saída</b>	
$F_{M \text{ Gases}} \text{ (UM)}$	182910	$F_{M \text{ Gases}} \text{ (UM)}$	182910
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	762	$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	580
$P \text{ (bara)}$	0,9	$P \text{ (bara)}$	0,9
<b>Turbina 1</b>			
Energia (kW)		218	
<b>Propriedades do Vapor de Exaustão</b>			
$F_{M \text{ Vapor}} \text{ (kg/h)}$		1084	
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$		94	
$P \text{ (bar)}$		0,8	
<b>Vapor para estufas</b>		<b>Aquecimento de Ar</b>	
$F_{M \text{ vapor}} \text{ (UM)}$	14092	$F_{M \text{ Ar Fresco}} \text{ (UM)}$	131274
$T_{\text{inicial}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	94	$T_{\text{inicial}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	25
$T_{\text{final}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	94	$T_{\text{final}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	75
$P_{\text{inicial}} \text{ (bar)}$	0,8	$P_{\text{inicial}} \text{ (bar)}$	1,2
$P_{\text{final}} \text{ (bar)}$	0,8	$P_{\text{final}} \text{ (bar)}$	1,2
$Q \text{ (UP)}$	6,5	$Q \text{ (UP)}$	1,82

Desta simulação conclui-se que é possível utilizar directamente a condensação do vapor sobranante numa das três estufas com uma potência total de 19,5 UP, diminuindo a potência da caldeira da biomassa. O condensado retorna ao processo após a sua compressão na bomba 2, circulando em circuito fechado.



## 6. CONCLUSÕES

O principal objectivo do presente trabalho consistiu em estudar uma solução integrada de valorização industrial de recursos e de resíduos florestais.

Para tal, estudou-se em detalhe o processo de produção de *pellets* não só na fase de montagem como na fase de arranque de uma nova unidade do Grupo Martos, a Omnipellets no concelho de Leiria.

Foi realizada também uma análise detalhada a todas as unidades do Grupo Martos para ser possível a caracterização dos produtos e subprodutos gerados em todas as unidades do Grupo, bem como dos respectivos consumos energéticos.

Após o levantamento e a contabilização das entradas, saídas e consumos do complexo industrial, constatou-se que a integração dos produtos resultantes das várias unidades não é suficiente para satisfazer a necessidade por parte da produção de *pellets*. De forma a contrariar este facto o Grupo pode optar por expandir o seu raio de recolha de matéria-prima e aumentar a capacidade e/ou o horário laboral da unidade VRF, ou ainda aumentar a sua exploração florestal.

Da aplicação da metodologia do *BioPinch* aos recursos do Grupo Martos, embora esta avalie as impurezas de forma independente, conclui-se que a presença de humidade foi a mais determinante. No entanto esta abordagem simplificada é ainda muito incipiente.

O processo de produção de *pellets* da Omnipellets é dominado pela operação de secagem e pela fornalha, e fortemente dependente do teor de humidade do material, com valores ideais entre os 8 e 12% para o produto processado.

A secagem é conseguida pelos gases quentes obtidos da queima da biomassa na fornalha. O sucesso da operação de secagem baseia-se no funcionamento estável e eficiente da fornalha, associado à correcta integração da câmara de mistura para obtenção do caudal e temperatura desejadas à entrada do secador.

Do acompanhamento pessoal da fase de arranque foi possível constatar que esta operação é também influenciada pela humidade da biomassa a secar, havendo a necessidade de um reajuste das condições operatórias consoante o teor de humidade do serrim à entrada do secador, verificando-se também esta influência no funcionamento da fornalha.

Da análise às condições operatórias do processo de produção constatou-se que estas são influenciadas pela granulometria do material a secar, atingindo-se temperaturas mais elevadas na presença de partículas mais finas.

Efectuou-se, também uma simulação simplificada da unidade de produção de *pellets* da Omnipellets em *Aspen Plus®*, sendo necessário calcular perdas de calor de forma a atingir condições operatórias semelhantes às do ensaio T6. Realizaram-se análises de sensibilidade às perdas de calor nos equipamentos, ao caudal de ar fresco na câmara de mistura e à percentagem de humidade no ar de combustão e no ar fresco. Relativamente às percentagens de humidade no ar, observa-se que ambas as temperaturas têm tendência a diminuir com o aumento de humidade, sendo a ST1 a mais influenciada.

Verificou-se que não basta diminuir a temperatura à entrada do secador porque é necessário sempre introduzir um caudal de ar na câmara de mistura para se conseguir secar a biomassa.

Das simulações realizadas para a integração do caso base com uma central termoelétrica de tipo semelhante à CTBTSM, verificou-se que é possível esta integração para uma produção de 0,218MW de energia elétrica com recurso a uma turbina e usando um caudal de vapor de 1084 kg/h.

Com o intuito de diminuir as necessidades térmicas do Grupo Martos, simulou-se com sucesso, a integração do vapor de extração da turbina com o pré-aquecimento do ar da câmara de mistura e da água utilizadas nas estufas. Uma outra alternativa estudada foi a condensação directa deste vapor (6,63 UP) numa das três estufas do Grupo, aproveitando-se assim a entalpia libertada

Como trabalho futuro sugere-se:

- A optimização da gestão do parque da biomassa, com armazenamento individualizado de estilha com e sem casca, bem como uma optimização da percentagem da composição da mistura da biomassa de queima directa e da biomassa para produção de *pellets*. Sugere-se também o estudo da aquisição de uma nova estilhadora para melhor aproveitamento de alguns subprodutos, nomeadamente os retestos.
- A simulação, com maior detalhe, em *Aspen Plus®* da unidade de produção de *pellets*, com e sem integração.
- O desenvolvimento da metodologia do *BioPinch*

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] I. E. A. (IEA), "World Energy Outlook 2006," 2006.
- [2] BP, "Outlook 2030," 2013.
- [3] "Europe's Energy Portal," [Online]. [Acedido em Janeiro 2015].
- [4] P. C. P. Nunes, "Seminário UC Combustíveis Alternativos "Visão Estratégica sobre o Futuro da Energia no Mundo, na Europa e Portugal - A Importância da Biomassa"".
- [5] E. P. D. 2. o. t. E. P. a. o. t. Council, *Promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*, 2009.
- [6] C. o. t. E. Communities, *Communication from the Commission Biomass action plan {SEC(2005) 1573}*, Bruxelas, 2005.
- [7] P. Europeu, *Directiva 2001/77/EC do Parlamento Europeu e do Conselho - promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade.*, 2001.
- [8] R. Portuguesa, *Directiva 2009/28/CE Plano Nacional de Acção Para Energias Renováveis*, 2009.
- [9] P. Europeu, *Directiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Abril de 2009 relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis que altera e subsequentemente revoga as Directivas 2001/77/CE e 2003/30/CE*.
- [10] R. E. P. N. f. t. 2. C. (REN21), *Renewables 2013 Global Status Report*, 2013.
- [11] I. E. A. (IEA), *Potencial Contribution of Bioenergy to the World's Future Energy Demand*, 2007.
- [12] E. R. E. C. (EREC), *Renewable Energy in Europe - Market, Trends and Technologies*, 2010.
- [13] E. B. A. (AEBIOM), "<http://www.aebiom.org/>," [Online]. [Acedido em Março 2015].
- [14] A. P. p. o. A. (APA), *Relatório do Estado do Ambiente 2009*, 2010.
- [15] I. F. N. 6. (IFN6), *Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal Continental em 1995, 2005 e 2010*, 2013.
- [16] A. d. P. d. E. c. B. (APEB), *Conferência: Aproveitamento de Recurso Endógeno - Biomassa Florestal*, 2013.
- [17] C. d. B. p. E. (CBE), *Atlas da Biomassa Florestal Residual Produzida em Portugal Continental*, 2007.
- [18] R. Portuguesa, *Plano Nacional de acção para as energias renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE*, Junho 2009.
- [19] C. d. B. p. a. E. (CBE), *Workshop - 25 A Promover a Biomassa*, Miranda do Corvo, Fevereiro de 2015.
- [20] EAI, "[http://www.eai.in/ref/ae/bio/powr/biomass\\_power.html](http://www.eai.in/ref/ae/bio/powr/biomass_power.html)," [Online].
- [21] V. Francescato e E. Antonini, *WOOD FUELS HANDBOOK - Production, Quality Requirements, Trading*, Legnaro - Italy: AIEL - Italian Agriforestry Energy Association, 2008.
- [22] Omnipellets, "Omnipellets," [Online]. [Acedido em 2015].
- [23] E. P. C. (EPC), *ENplus - Handbook for the Certification of Wood Pellets for Heating Purposes Version 2.0*, 2013.
- [24] A. N. d. P. E. d. B. (ANPEB), "<http://www.anpeb.pt/#!apresentacao/cycn>," [Online]. [Acedido em Março 2015].
- [25] V. M. A. R. Eliseu Monteiro, "Portuguese pellets market: Analysis of the production and utilization constrains," Dezembro 2011.
- [26] T. B. International, *Worl of Pellets 2014*.
- [27] "BIOS BIOENERGIESYSTEME GmbH - <http://www.bios-bioenergy.at/en/pellets/pellet-production-plants.html>," [Online]. [Acedido em Maio 2015].
- [28] I. Obernberger e G. Thek, *The Pellet Handbook: Production and thermal utilisation of biomass pellets*, London,.: Earthscan, 2010.
- [29] P. D. Kofman, "Production of wood pellets - [http://www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ccpellet\\_production.pdf](http://www.woodenergy.ie/media/coford/content/publications/projectreports/cofordconnects/ccpellet_production.pdf)," [Online].

- [30] P. McKendry, "Energy Production from biomass (part 2): conversion technologies," 2001.
- [31] E. Comission, Biomass Conversion Technologies - Achievements and Prospects for Heat and Power Generation, 1999.
- [32] I. R. E. A. (IRENA), Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Biomass for Power Generation. Vol 1, Power Sector, 2012.
- [33] H. N. S. Michael J. Moran, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Inglaterra: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [34] E. G. d. Azevedo, Termodinâmica Aplicada, Escolar Editora, 2011.
- [35] "Center for Climate and Energy Solutions - <http://www.c2es.org/technology/factsheet/CogenerationCHP>," [Online]. [Acedido em Abril 2015].
- [36] "Martos - <http://martos.pt/>," [Online]. [Acedido em 2015].
- [37] "Valbopan - <http://www.investwood.pt/content.aspx?menuid=32>," [Online]. [Acedido em Março 2015].
- [38] D. d. República, <https://www.ivdp.pt/pt/docs/legislacao/345.pdf>.
- [39] I. d. C. d. N. e. d. Florestas, "<http://www.icnf.pt/portal/florestas/prag-doe/ag-bn/nmp>," [Online].
- [40] L. Flucal - Fluidos e Calor, *Manual de Instruções da Fornalha modelo FLUCAL FBM4*, Valongo, 2014.
- [41] Alibaba.com, "<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/40tph-garnet-sand-silica-sand-river-sand-dryer-3-0x6-5m-60011682756.html>," [Online]. [Acedido em Junho 2015].
- [42] H. H. H. S. Werner Groebli, "Pellet mill - US 4770621 A". 1988.
- [43] "<http://www.generaldies.com/index.php?lang=eng&blk=pellet-mills>," [Online]. [Acedido em Maio 2015].
- [44] C. Dias, *Relatório da Medição dos Consumos Eléctricos no Grupo Martos*, 2014.
- [45] C. -. C. d. B. p. a. Energia, *Alguns exemplos de análises realizadas no laboratório do CBE*.
- [46] G. L. X. F. Z. Zhao, "The Integration of the Hydrogen," 2007.
- [47] M. C. F. H. A. M. C. P. N. Susana Relvas, *Grupo Nacional para a Integração de Processos (GNIP) - Integração de Processos*, PolarPress, Lda, 2002.
- [48] C. R. R. B. Jennifer Dymont, *Overview of Solids Modeling for Chemical Processes*, 2013.
- [49] N. MehrdokhtB.Nikoo, "Simulationofbiomassgasificationinfluidizedbedreactor," Fevereiro 2008.
- [50] S. D. Kuntal Jana, "Biomass Integrated Combined Power Plant with Post Combustion CO2 Capture – Performance Study by ASPEN Plus," 2013.
- [51] P. Alves, "Relatório da Cooperação IST/CTBTSM".
- [52] A. L. Z. P. Julie Levine, *Jump Start: Modeling Convective Dryers - A Brief Tutorial (and supplement to training and online documentation)*, 2013.
- [53] K. M. Lany, "Master Dissertation - Strategic and Technological Analysis of Electricity Generation from Biomass in Poland and Portugal: Present Situation and Future Prospective," 2014.
- [54] AEBIOM, "ENplus," [Online]. [Acedido em Novembro 2014].
- [55] "Energias Renováveis," Portal da Energia. [Online]. [Acedido em Dezembro 2014].
- [56] A. F. & B. Catalog, *Hammer Mills - High-performance grinding*.
- [57] "International Energy Agency," [Online]. [Acedido em Janeiro 2015].



