



ELABORAÇÃO DE UM TARIFÁRIO PARA ALOCAR O CONSUMO DE TERMOFLUIDO AOS CENTROS DE CUSTO DAS DIFERENTES UNIDADES INDUSTRIAIS

JULIO OLIVEIRA MORGADO

setembro de 2021

ELABORAÇÃO DE UM TARIFÁRIO PARA ALOCAR O CONSUMO DE TERMOFLUIDO AOS CENTROS DE CUSTO DAS DIFERENTES UNIDADES INDUSTRIAIS

Júlio Oliveira Morgado
1150365

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





ELABORAÇÃO DE UM TARIFÁRIO PARA ALOCAR O CONSUMO DE TERMOFLUIDO AOS CENTROS DE CUSTO DAS DIFERENTES UNIDADES INDUSTRIAIS

Júlio Oliveira Morgado
1150365

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro e coorientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica





JÚRI

Presidente

A definir

Orientador

Doutor Leonardo José da Silva Ribeiro

Professor Adjunto, ISEP

Coorientador

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Adjunto, ISEP

Arguente

A definir

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e família, a quem tudo devo, pelo esforço que fizeram ao longo destes cinco anos.

À Inês, pelo constante apoio e motivação.

Aos meus amigos, também por todo o apoio durante estes anos.

À empresa, por me ter dado a oportunidade de desenvolver este projeto e por ter acreditado no meu potencial. Um agradecimento especial ao meu orientador na empresa de acolhimento, Eng.º Bruno Pires, que sempre demonstrou todo o apoio e confiança que permitiram a integração e a realização deste projeto.

A todos os envolvidos neste percurso, professores e colegas.

Por fim, mas não menos relevante, agradeço ao meu orientador, Professor Leonardo José da Silva Ribeiro, pela disponibilidade, simpatia e orientação prestada em prol no desenvolvimento deste projeto.

PALAVRAS CHAVE

Termofluido, energia, biomassa, caldeiras

RESUMO

Numa primeira fase deste estudo foi efetuada uma breve pesquisa acerca dos conceitos mais importantes para a elaboração deste projeto, nomeadamente assuntos relacionados com energia térmica proveniente da queima da biomassa. Para a segunda parte deste estudo, foi fundamental entender a distribuição da energia térmica da empresa bem como os seus principais consumidores, nas diferentes unidades industriais, de forma a elaborar um sistema de tarifário que visa distribuir este tipo de energia pelas diferentes áreas.

Este tarifário terá como base diferentes tipos de custos, nomeadamente custos operacionais (manutenção do sistema de circulação de termofluido, recursos humanos, amortizações, aquisição da biomassa e resíduos). Pretende-se estudar e melhorar, se possível, o rendimento da queima na fornalha da caldeira. Realizou-se uma análise dos equipamentos de aquisição de dados de energia, de modo a definir os perfis de consumo dos consumidores de energia térmica, com o auxílio do sistema de gestão de energia utilizado pela empresa.

O tipo de biomassa utilizado tem um peso bastante significativo na elaboração do tarifário, pois o seu poder calorífico terá influência direta no custo da energia térmica para os diferentes setores de produção.

O principal objetivo deste estudo é então desenvolver, com base nos pontos referidos anteriormente, um sistema de tarifário para determinação de custos de energia térmica, em cada sector fabril, tendo por base as necessidades energéticas de cada consumidor.

KEYWORDS

Thermal fluid, energy, biomass, boilers

ABSTRACT

In the first phase of this study a brief research was carried out on the most important concepts with the goal to prepare myself for this project, namely subjects related to thermal energy from biomass burning. For the second part of this study, it was fundamental to understand the company's thermal distribution, as well as its main consumers, in the different industrial units, in order to elaborate a tariff system that aims to distribute this type of energy by the different areas.

This tariff will be based on different types of costs, specifically operating costs (maintenance of the thermal fluid circulation system, human resources, depreciation, acquisition of biomass and waste). The aim is to study and improve, if possible, the efficiency of the burning in a boiler furnace. An analysis of the energy data acquisition equipment was carried out for the purpose of defining the consumption profiles of the thermal energy consumers, with the help of the energy management system used by the company.

The type of biomass used has a very significant weight in the tariff elaboration, since its calorific power will have direct influence on the thermal energy cost for the different production sectors.

The main objective of this study is then to develop, based on the points mentioned above, a tariff system to determine the thermal energy costs, in each manufacturing sector, based on the energy needs of each consumer.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
GMT	<i>Grain Materials Technology</i>
CNM	<i>Cork Natural Materials</i>
CRM	<i>Cork Rubber Materials</i>
CHC	<i>Cork High-Density Material</i>
CCS	<i>Cork Customized Solutions</i>
PCI	Poder Calorífico Inferior
SGE	Sistema de Gestão de Energia

Lista de Unidades

kWh	Quilowatt hora
kW	Quilowatt
W	Watt
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
°C	Grau Celsius
Kg	Quilograma
%	Porcentagem
MJ/kg	Megajoule por quilograma
MW	Megawatt
€	Euro

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRINCÍPIOS DA MONITORIZAÇÃO DE ENERGIA DA EMPRESA. [3]	26
FIGURA 2 - ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DA EMPRESA.	27
FIGURA 3 - RELAÇÃO CALDEIRA - CONSUMIDORES.	33
FIGURA 4 - CONSUMIDORES DE ENERGIA TÉRMICA POR UNIDADE INDUSTRIAL.	35
FIGURA 5 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DA CALDEIRA DE TERMOFLUIDO.	37
FIGURA 6 - CALDEIRA 1 (ESQUERDA) E CALDEIRA 2 (DIREITA).	38
FIGURA 7 - MEDIÇÃO DOS GASES DE EXAUSTÃO.	39
FIGURA 8 - CAUDALÍMETROS INSTALADOS AO LONGO DA TUBAGEM.	42
FIGURA 9 - SISTEMA DE CAUDALÍMETROS.	43
FIGURA 10 - CAUDALÍMETRO NO CIRCUITO DE TERMOFLUIDO PARA O EXEMPLO DE UM SECADOR.	43
FIGURA 11 - CAUDAL MEDIDO POR MÊS.	44
FIGURA 12 - FLUXO DE DADOS DO SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA.[11]	45
FIGURA 13 - INFORMAÇÃO GERADA PELO SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA. [12]	46
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA DA EMPRESA.	48
FIGURA 15 - REDE DE TERMOFLUIDO DA FÁBRICA.	50
FIGURA 16 - AMOSTRA DE PÓ GROSSO (TERRAS).	52
FIGURA 17 - AMOSTRA DE PÓ FINO.	52
FIGURA 18 - AMOSTRA DE CASCA DE PALMA.	52
FIGURA 19 - AMOSTRA DE PELLETS.	52
FIGURA 20 - AMOSTRA DE CAROÇO DE AZEITONA.	53
FIGURA 21 - AMOSTRA DE CASCA DE AMÊNDOA.	53
FIGURA 22 – CÂMARA DE EXPANSÃO.	57
FIGURA 23 – SECADOR VERTICAL.	57
FIGURA 24 - SECADOR HORIZONTAL.	58
FIGURA 25 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO DO GMT.	58
FIGURA 26 - PRENSA CRM.	59
FIGURA 27 - ESTUFA CRM.	59
FIGURA 28 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO DO CRM.	59
FIGURA 29 - ESTUFA DE BLOCOS DO CNM.	60
FIGURA 30 - ESTUFA DE CILINDROS DO CNM.	60
FIGURA 31 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO DE CNM.	60
FIGURA 32 - PRENSA DO CHC.	61
FIGURA 33 - RELAÇÃO ENTRE CONSUMO DE ENERGIA E PRODUÇÃO DO CHC.	61
FIGURA 34 - CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA POR UNIDADE INDUSTRIAL.	62
FIGURA 35 - ENERGIA TÉRMICA DEBITADA PELA CALDEIRA VS ENERGIA TÉRMICA CONSUMIDA PELAS ÁREAS.	62
FIGURA 36 - BALANÇO ECONÓMICO INICIAL.	63
FIGURA 37 - BALANÇO ECONÓMICO FINAL.	64

FIGURA 38 - CUSTOS OPERACIONAIS.	64
FIGURA 39 - PÓ FINO (ESQUERDA) E PÓ GROSSO (DIREITA).	66
FIGURA 40 - EXEMPLO DE CÁLCULO DA TARIFA SEMANAL.	69
FIGURA 41 - EXEMPLO DE CÁLCULO DA TARIFA DE FIM DE SEMANA.	70
FIGURA 42 - CONCLUSÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DO TARIFÁRIO.	80

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CONSUMO DE BIOMASSA INTERNA NO ANO 2020.	34
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DAS CALDEIRAS DE TERMOFLUIDO.	38
TABELA 3 - RENDIMENTO DA CALDEIRA 1.	39
TABELA 4 - RENDIMENTO DA CALDEIRA 2.	40
TABELA 5 - SETPOINT DE TEMPEARATURA DE OPERAÇÃO.	40
TABELA 6 - CONSUMO ANUAL DAS DIFERENTES FONTES DE ENERGIA DA EMPRESA, EM KWH. [11]	46
TABELA 7 - TIPO DE ENERGIA ASSOCIADO A CADA UNIDADE INDUSTRIAL. [11]	47
TABELA 8 - TIPOS DE BIOMASSA ANALISADOS PELA EMPRESA.	52
TABELA 9 - GASTOS OPERACIONAIS.	65
TABELA 10 - CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA DOS SISTEMAS AUXILIARES.	65
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS DO PÓ FINO.	66
TABELA 12 - CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE BIOMASSAS ESTUDADAS.	67
TABELA 13 - CUSTEIO CALORÍFICO DE BIOMASSAS EXTERNAS.	68
TABELA 14 - CUSTEIO CALORÍFICO DA BIOMASSA INTERNA.	68
TABELA 15 - TARIFA SEMANAL.	70
TABELA 16 - TARIFA DE FIM DE SEMANA.	71
TABELA 17 - TARIFAS DE ENERGIA TÉRMICA.	72
TABELA 18 – SIMULAÇÃO DE DÉBITO.	72
TABELA 19 - TARIFAS DE BIOMASSA INTERNA.	72
TABELA 20 - SIMULAÇÃO DE CRÉDITO.	73
TABELA 21 - RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.	73
TABELA 22 - GANHOS COM A MEDIDA DE CORTE DE CAUDAL EM MOMENTOS DE PARAGEM.	74
TABELA 23 - ANÁLISE DE BIOMASSAS.	75

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	Contextualização.....	25
1.2	Objetivos.....	28
1.3	Metodologia.....	28
1.4	Estrutura	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	Distribuição de energia térmica	33
2.2	Caldeiras de termofluido.....	35
2.2.1	Rendimento das caldeiras	38
2.2.2	<i>Setpoint</i> de temperatura	40
2.3	Caudalímetros	41
2.4	Sistema de gestão de energia.....	44
2.5	Termofluido	48
2.6	Biomassa	50
3	DESENVOLVIMENTO	57
3.1	Energia entregue.....	57
3.2	Balanço económico	63
3.2.1	Balanço económico inicial	63
3.2.2	Balanço económico final.....	63
3.2.2.1	Custos operacionais.....	64
3.2.3	Tarifa do pó de cortiça.....	65
3.2.4	Tarifa do pó.....	67
3.2.5	Tarifário	68
3.2.5.1	Tarifário – semana	69
3.2.5.2	Tarifa – fim de semana	70

3.3	Simulação do tarifário	71
3.3.1	Débito de energia	71
3.3.2	Crédito de biomassa	72
3.3.3	Resultados da simulação	73
3.4	Eficiência operacional	74
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	79
4.1	CONCLUSÕES	79
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	83
6	ANEXOS	87
6.1	ANEXO1.....	87

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O presente documento constitui o projeto de dissertação desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica - Gestão Industrial, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Este trabalho foi realizado no ano letivo 2020/2021 cujo tema é “Elaboração de um tarifário para alocar o consumo de termofluido aos centros de custo das diferentes unidades industriais” e decorreu numa empresa da indústria corticeira, fabricante de aglomerados compósitos.

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido junto do Departamento de Infraestruturas e Gestão de Ativos Fixos, focado na Gestão de Energia.

Ao longo do estágio, foi analisada pormenorizadamente toda a rede de termofluido da fábrica para posteriormente criar uma tarifa justa tendo em conta o que cada área industrial consome de energia térmica.

Neste capítulo será apresentado uma breve introdução, na qual vão ser abordados temas como enquadramento do trabalho e os seus principais objetivos.

1.1 Contextualização

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido junto do Departamento de Infraestruturas e Gestão de Ativos Fixos, focado na Gestão de Energia de uma organização que tem como ocupação central a produção de aglomerados de cortiça. Este trabalho encontra-se inserido no âmbito de um projeto piloto, cujo objetivo principal consiste em criar um tarifário de termofluido para alocar às diferentes unidades industriais.

A gestão de energia é frequentemente negligenciada na indústria, facto que gera significativos desperdícios de energia, contribuindo para a redução da competitividade das empresas. Monitorizar os consumos energéticos das diferentes linhas de produção vai certamente influenciar os respetivos custos de cada produto. Conhecer com exatidão estes custos é essencial para a determinação do preço de venda de um determinado produto. Em suma, a gestão de energia pode definir-se como uma estratégia para ajustar e otimizar o seu consumo, utilizando sistemas e procedimentos adequados, de forma a reduzir as necessidades de energia por unidade de produção.

Medir os consumos de cada setor em tempo real e manter um histórico atualizado facilita a afetação de custos a cada processo. Torna-se igualmente muito mais simples detetar quais os setores e equipamentos que necessitam de melhorias ou de ser reestruturados.

A eficiência energética passa também por perceber quais os horários de funcionamento exatos dos vários equipamentos. Por exemplo, deixar, desnecessariamente, a ventilação ou a iluminação ligada tem custos significativos, tal como os períodos, que por mais pequenos que sejam, em que as máquinas do processo produtivo estão a funcionar desnecessariamente. As vantagens de um sistema destes podem representar enormes poupanças. [1]

Como foi referido anteriormente, a energia é fundamental para a operação de qualquer organização e tem custo significativo e por isso, os três grandes objetivos da sua gestão são:

1. Atingir e manter uma ótima utilização da energia em toda a organização;
2. Minimizar o custo e desperdício energético sem afetar a produção e a qualidade;
3. Minimizar o impacto no meio ambiente.

A maioria das empresas portuguesas do setor industrial tem nos gastos com energia elétrica uma das suas maiores despesas. É por isso crucial que seja adotado um sistema de monitorização e de gestão de energia, com vista ao aumento da eficiência energética e à redução dos valores das faturas e mensalidades.

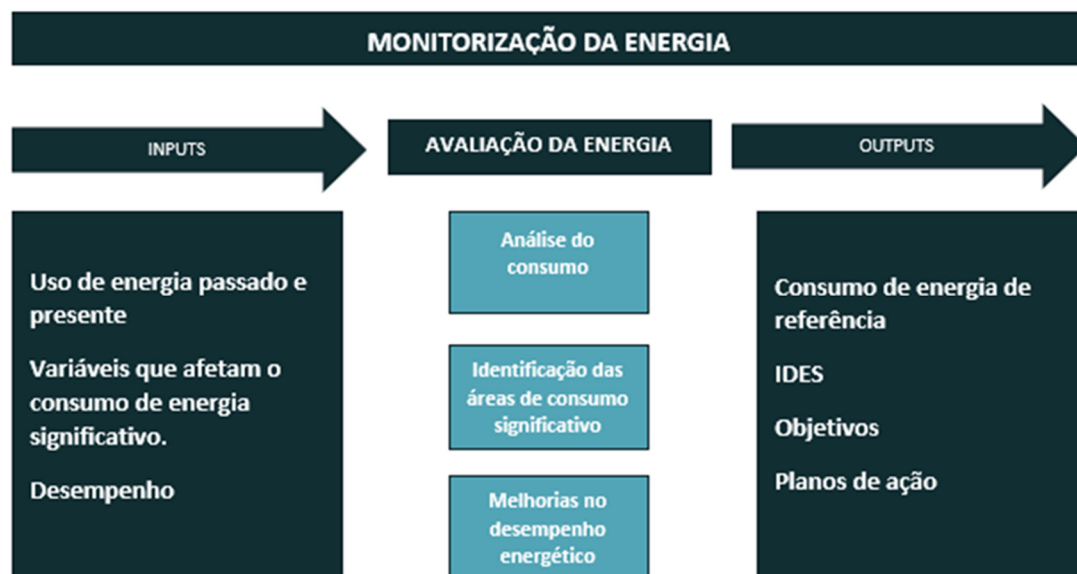


Figura 1 - Princípios da monitorização de energia da empresa. [3]

No processo de produção dos diversos aglomerados de cortiça nas várias unidades industriais da fábrica, existem desperdícios que posteriormente são reaproveitados ou servem de alimentação às caldeiras, sob a forma de pó fino ou pó grosso, dependendo de onde provêm, de modo a baixar o custo com energia suportado pela empresa. O pó fino é considerado um desperdício das laminadoras e das lixadoras da fábrica enquanto o pó grosso provém das diferentes triturações (depende da granulometria do grão de cortiça).

O desenvolvimento deste trabalho é realizado numa empresa multinacional e líder mundial no setor da cortiça. Valorizar a cortiça, desenvolvendo soluções com compósitos sustentáveis para múltiplas aplicações é a principal missão da organização. Tendo em conta esta missão da empresa, é também muito importante valorizar a cortiça desperdiçada para produzir energia.

A cortiça não aproveitada pela indústria de rolhas é a matéria-prima utilizada para o desenvolvimento de um portefólio de produtos destinados a várias indústrias – desde a construção, com soluções termo-acústicas, decoração de casa e escritório, objetos de *design* e funcionais que aproximam a cortiça do consumidor final, até ao desenvolvimento de materiais para indústrias de alta tecnologia – indústria automóvel, aeronáutica e aeroespacial.

O esquema apresentado (Figura 2) exhibe a estrutura organizacional existente na empresa de acolhimento, destacando-se o Departamento de Infraestruturas e Gestão de Ativos Fixos, local onde desenvolvi todo o trabalho.

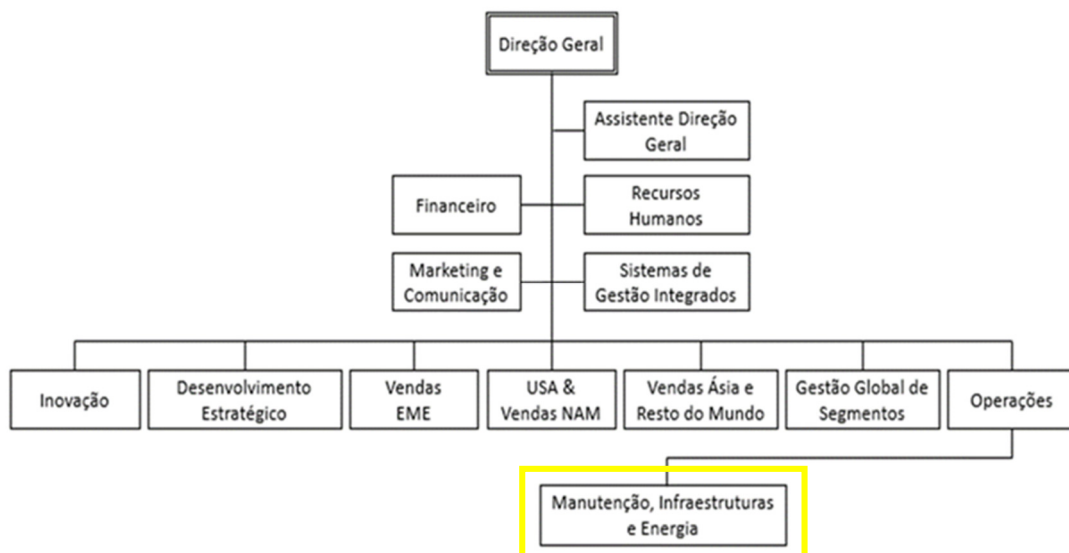


Figura 2 - Estrutura organizacional da empresa.

No desenvolvimento do projeto foi utilizado um *software* de gestão de energia, o “E+Monitor” (*Remote Monitoring and Energy Management System*), que é uma solução integralmente desenvolvida pela EWEN, uma empresa de serviços de energia, para um controlo rigoroso dos consumos energéticos e conseqüente gestão de energia, tendo em conta vários parâmetros físicos como, água, pressão, temperatura, etc. [6]

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo principal, a criação de um tarifário de energia térmica obtida com a instalação de termofluido para afetar aos centros de custo das respetivas unidades industriais. Este tema surge através da necessidade de organizar a distribuição de termofluido com o objetivo de debitar à unidade industrial o valor apenas daquilo que consome, o que permitirá uma gestão mais cuidadosa por parte das áreas no que diz respeito à energia térmica e conseqüentemente ao preço final do produto.

De uma forma mais detalhada, são apresentados abaixo os passos para o desenvolvimento deste projeto.:

- Identificação em planta/esquema dos consumidores de energia térmica de cada unidade, bem como as suas características e necessidades;
- Definir consumos e custos tendo em conta custos operacionais e custos energéticos;
- Análise dos resultados obtidos com o sistema de gestão de energia para definir os padrões de consumo de energia térmica (estruturar perfis de consumo);
- Avaliação do rendimento energético das caldeiras de termofluido;
- Analisar diferentes tipos de biomassa;
- Por fim, aquele que é o objetivo principal, desenvolver um sistema de tarifário para alocação de custos de energia térmica, tendo por base as necessidades energéticas das respetivas unidades industriais.

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento da dissertação de mestrado irá ser utilizada a metodologia *Action Research*, focada na criação de teóricas de pesquisa que podem ser aplicadas em situações reais, de modo a satisfazer as necessidades de uma organização. [4]

Cada etapa tem o seu respetivo conteúdo específico na abordagem desta metodologia:

- Diagnóstico: Análise do problema e constrangimentos correspondentes;

- Planeamento de Ação: Conceção de uma ou mais soluções para resolver o problema, tendo em conta os requisitos;
- Implementação: Implementação das ações no terreno e recolha de dados;
- Avaliação dos resultados obtidos;
- Resultados/tomada de decisões: caso os resultados sejam satisfatórios serão tiradas conclusões finais sobre a nova informação obtida, caso os resultados não sejam satisfatórios refletir-se-á sobre a informação obtida de modo a identificar problemas e novas soluções, iniciando um novo ciclo. [5]

1.4 Estrutura

O presente relatório está dividido em quatro partes.

Sendo o primeiro capítulo uma breve introdução que contém: contextualização, os objetivos, a metodologia e a estrutura do relatório.

De seguida, na segunda parte faz-se a revisão bibliográfica dos diferentes tópicos, desde uma introdução, aos conceitos de energia térmica e monitorização da mesma, passando para os conceitos de termofluido e distribuição deste ao longo da fábrica.

No desenvolvimento, terceiro capítulo, apresenta-se a proposta de tarifário a adotar analisando todos os custos importante na gestão da energia térmica.

Posteriormente, no quarto capítulo analisa-se criticamente a revisão bibliográfica efetuada no capítulo anterior e tiram-se as conclusões retiradas da mesma.

Por fim, o quarto capítulo inclui a bibliografias e todas as fontes de informação utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Distribuição de energia térmica

Como se pode ver na figura 3, a empresa possui atualmente duas caldeiras de termofluido, no entanto trabalha apenas uma, enquanto a outra está de reserva. A bomba situada à saída das caldeiras é responsável por bombear o termofluido, que por sua vez, através da transferência de calor vai fornecer energia térmica para os respetivos consumidores.

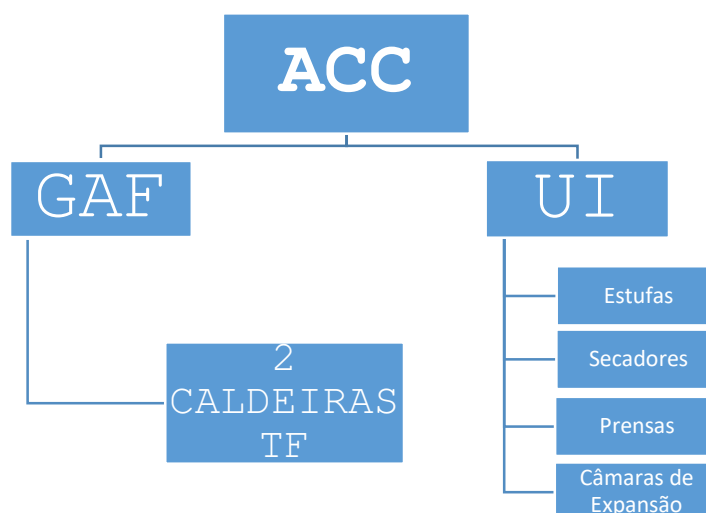


Figura 3 - Relação caldeira - consumidores.

Analisando a tabela 1, no ano 2020 gastamos aproximadamente 6,5 toneladas e meia de pó de cortiça, responsável por gerar cerca de 24 milhões de kWh de energia térmica. Podemos afirmar que é um valor bastante significativo, e rapidamente concluímos que devemos dar a devida importância a este recurso tão nobre da forma mais sustentável, medindo e avaliando o consumo e desempenho dos consumidores. Para isso, concluímos que para promover a eficiência das unidades industriais no que toca à utilização deste recurso, é importante alocar um correto e justo débito de energia térmica a cada unidade industrial e conseqüentemente a cada produto.

Tabela 1 - Consumo de biomassa interna no ano 2020.

2020	Peso (ton)	Energia (kWh)	Custo (€)
Biomassa interna	6430	24 M	2 M

Como qualquer outro fator de produção, a energia deve ser gerida contínua e eficazmente. Para tal, existem meios auxiliares que permitem realizar esta gestão, como por exemplo os caudalímetros entálpicos, contadores de energia elétrica, contadores de água, de vapor, entre outros, que instalados nos principais sectores/equipamentos produtivos e auxiliares permitem conhecer e caracterizar as utilizações energéticas de uma instalação industrial.

Como indicado na figura 4, a empresa está dividida em 5 unidades industriais:

- GMT - é a unidade industrial responsável pela transformação da matéria-prima de cortiça em granulado. O produto final desta área pode ser quer para consumo interno, quer para consumo externo. Este processo é responsável pela trituração da cortiça em pequenos granulados, classificados por dimensão e densidade. A instalação térmica de termofluido é responsável por transferir calor para processo de trituração bem como o processo da secagem; [7]
- CNM - onde são aglomerados cilindros e blocos, constituídos, na grande maioria das vezes, unicamente por granulado de cortiça. Também nesta unidade industrial, os cilindros e blocos são transformados em folhas, placas ou rolos. A aglomeração de cilindros e a produção de blocos consome energia térmica do termofluido para alimentar, por exemplo, estufas; [7]
- CHC - uma tecnologia inovadora cujo objetivo é produzir rolos com cortiça de alta densidade e com dimensões mais elevadas, relativamente à cortiça usada nas restantes unidades desta organização, CNM e CRM. Nesta unidade industrial a prensa do CHC é também alimentada através do termofluido; [7]
- CRM – onde são aglomerados produtos com menor quantidade de cortiça e com adição de materiais alternativos, nomeadamente borracha, que posteriormente são laminados, originando folhas, placas ou rolos. Partes do processo da aglomeração e transformação também são alimentadas por termofluido; [7]
- CCS - é a unidade industrial onde se pretende uma solução personalizada de produtos previamente transformados. É também a prensa que necessita de termofluido durante o seu processo de transformação. [7]

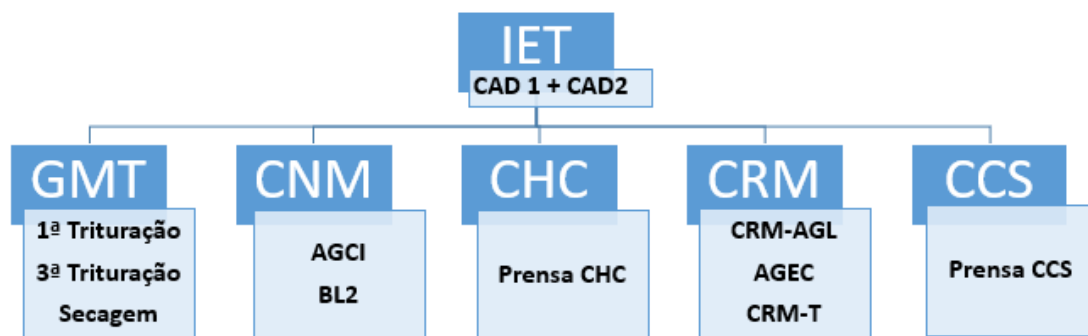


Figura 4 - Consumidores de energia térmica por unidade industrial.

2.2 Caldeiras de termofluido

Existem dois grandes grupos para caracterizar caldeiras: caldeiras de tubos de fumo e tubos de fluido. Nas primeiras, a combustão ocorre numa fornalha, eventualmente num tubo central, circulando os gases de combustão pelo interior dos tubos e o fluido permanece no exterior dos tubos, sendo aquecido ou até mesmo vaporizado. Nas segundas, o fluido a ser aquecido ou vaporizado circula no interior dos tubos.

As caldeiras em estudo são de tubos de fluido, em que o óleo circula através do interior dos tubos onde é aquecido por meio de combustão de pó de cortiça, que pode apresentar duas granulometrias, o pó fino que resulta do processo de lixagem das placas de cortiça e o pó grosso que resulta dos excessos das triturações da cortiça. Frequentemente também existe a necessidade de adquirir um combustível alternativo para queimar na caldeira devido ao facto de o pó de cortiça ser cada vez mais escasso. A caldeira é o local onde se processa a transformação de energia química potencial de um combustível em energia térmica (combustão) que é utilizada para aquecer ou vaporizar um fluido intermediário. Parte da energia é, maioritariamente, dissipada pelas paredes do gerador e nos gases de combustão através da chaminé.

O fluido intermediário utilizado é um óleo térmico, que vai circular para as diferentes áreas industriais e seus respetivos consumidores, através de transferência de potência calorífica originada pela combustão do pó da cortiça ou do combustível alternativo. Atualmente a fábrica é composta por duas caldeiras de termofluido, a caldeira 1 e a caldeira 2.

As principais características das caldeiras de termofluido são:

- Pressão máxima admissível de 6,0 bar;
- Temperatura máxima admissível de 300 °C;
- Volume de 5120 litros;
- Potência térmica de 5,67 MW; [8]

A caldeira de termofluido é constituída por 2 câmaras ligadas entre si por tubagens flangeadas sem válvulas de corte, sendo uma câmara designada por câmara de combustão (fornalha) onde decorre a combustão do pó da cortiça, nela introduzida por tubagens ligadas por flanges à fornalha, e uma câmara secundária (funciona como recuperador) onde o óleo térmico é pré-aquecido pelos gases de combustão que saem da fornalha. São do tipo retangular vertical, sendo a fornalha do tipo tubos verticais de parede de óleo (colocados nas paredes laterais) e o recuperador é do tipo “toalhas de tubos” verticais. Fazem parte também da caldeira os coletores e flanges de entrada e saída do termofluido, as tubagens de aplicação dos acessórios de controlo e segurança, o quadro de comando, os equipamentos necessários ao seu funcionamento e o isolamento térmico. A caldeira apresenta sistema de drenagem adequado ao fluido utilizado e preparado para a condução do mesmo para local apropriado. É composta ainda por vários outros componentes, adequados ao funcionamento da caldeira, entre os quais se destacam os posteriormente apresentados.

- 1. Sistema de circulação do óleo:** O óleo térmico que circula em circuito fechado entra na câmara secundária, passa para a câmara de combustão, sai para o coletor geral de saída (avanço), é conduzido para a fábrica, retorna ao coletor de retorno e entra novamente na câmara secundária. A circulação do óleo térmico quer na caldeira quer no circuito fabril é efetuado por ação de grupos eletrobomba, comandadas por sistema de deteção de caudal mínimo de funcionamento. Quando é necessário repor o nível de óleo existente, um grupo eletrobomba ligado ao vaso de recolha introduz óleo no sistema.
O circuito de óleo térmico está também ligado ao vaso de expansão, via coletor, em sistema aberto e permite absorver as dilatações/contrações do óleo térmico.
- 2. Quadro de comando:** O quadro de comando deverá estar localizado de forma que permita conduzir a caldeira facilmente e visualizar os sistemas de controlo visual de pressão e temperatura. Deverá estar concebido de forma que sempre que os limitadores/sistemas de segurança sejam atuados, seja acionado o bloqueio do funcionamento e o alarme ativado. Para o arranque deverá ser necessário o rearme manual da caldeira.
- 3. Circulação dos gases de combustão:** Os gases que percorrem a fornalha, onde ocorre a combustão, são encaminhados para a câmara secundária (recuperador), que percorrem, e por sua vez encaminhados para o ciclone onde se faz o despoeiramento dos gases. Por fim, os gases seguem para a chaminé e são extraídos para a atmosfera.
- 4. Dispositivos de controlo e segurança:** Para um melhor controlo do sistema, existem 2 manómetros na entrada e saída do fluido, 2 indicadores de temperatura, também na entrada e na saída do fluido, 1 controlador de

é óleo térmico e ambas podem ser alimentadas tanto a pó de cortiça como a outro tipo de biomassa florestal.

Tabela 2 - Características das caldeiras de termofluido.

	Caldeira 1	Caldeira 2
Potência (kW)	3490	5830
Volume (L)	3065	5120
Temperatura máxima (°C)	300	
Fluido	Óleo Térmico	
Combustível	Pó de cortiça e biomassa	



Figura 6 - Caldeira 1 (esquerda) e caldeira 2 (direita).

2.2.1 Rendimento das caldeiras

Num sistema de combustão com eficiência energética teórica de 100% toda a energia libertada na queima do combustível é transferida para o processo que se pretende alimentar. No entanto, tais sistemas ideais não existem e na realidade, parte dessa energia é perdida para o meio envolvente através das paredes, dos gases de combustão e do combustível não queimado. É por isso importante monitorizar a eficiência térmica das caldeiras, recorrendo-se para o efeito a auditorias energéticas. Existem dois métodos para determinar a eficiência de uma caldeira: método direto e método indireto (método das perdas). Para determinar o rendimento das caldeiras de termofluido da fábrica foi utilizado o método das perdas, que consiste na contabilização das principais

perdas existentes na caldeira. Para avaliar a eficiência da combustão efetuou-se a monitorização num ponto de saída próximo da câmara de combustão através da análise dos gases de exaustão, medidos num ponto de saída próximo da área de combustão. A caldeira que apresentou melhor rendimento foi a caldeira mais utilizada, com aproximadamente 81%, o que é bastante positivo para uma caldeira a pó de cortiça, como podemos ver na tabela 3.



Figura 7 - Medição dos gases de exaustão.

Como já foi referido, as duas caldeiras de termofluido queimam, no essencial, pó de cortiça gerado no processo produtivo e que é armazenado em silos (pó fino e pó grosso). Normalmente queima-se uma mistura destas duas granulometrias (cerca de 77% de pó grosso e 23% de pó fino). Existe também a possibilidade de utilizar como combustível biomassa, nomeadamente casca de palma, caroço de azeitona e casca de amêndoa.

Tabela 3 - Rendimento da caldeira 1.

CALDEIRA 1		
Ensaio (nº)	Percentagem biomassa (%)	Rendimento (%)
1	• 100% Pó Grosso	78,4
2	• 27% Pó Fino • 73% Pó Grosso	79,9

Tabela 4 - Rendimento da caldeira 2.

CALDEIRA 2		
Ensaio (nº)	Percentagem biomassa (%)	Rendimento (%)
1	<ul style="list-style-type: none"> • 27% Pó Fino • 73% Pó Grosso 	80,6

A caldeira que apresentou melhor rendimento foi a caldeira mais utilizada, com aproximadamente 81%, o que é bastante positivo para uma caldeira a pó de cortiça. A caldeira 1 também apresenta um rendimento bastante positivo, mesmo quando esta trabalha apenas com pó grosso.

2.2.2 Setpoint de temperatura

O valor da temperatura de regulação (*setpoint*) dos consumidores de termofluido é muito relevante para a monitorização da energia térmica e, conseqüentemente, retirar a melhor eficiência das caldeiras. Saber a que temperatura trabalha determinado consumidor permite uma flexibilidade na gestão das caldeiras em momentos de paragem, ou seja, em momentos que apenas estão a trabalhar algumas áreas. Permite então controlar a temperatura a garantir na caldeira. Esta temperatura de regulação não representa a de circulação do termofluido à chegada dos consumidores, mas sim a temperatura, em determinado ponto de dado consumidor. Por exemplo, numa estufa, é medida temperatura do ar do interior da estufa, através de sondas de temperaturas instaladas no seu interior. Na tabela 5 podemos ver o intervalo de temperatura de funcionamento de todos os consumidores de energia térmica da fábrica.

Tabela 5 - Setpoint de temperatura de operação.

Área	Consumidor	Medição	Setpoint (°C)
GMT	Secadores Verticais	Ar de secagem à saída	40 – 90
	Secadores Horizontais	Ar de secagem à saída	50 - 100
	Câmaras de Expansão	Temperatura do óleo	200
CNM	Estufa (BL2)	Ar interior da estufa	130
	Estufas (AGCI)	Ar interior da estufa	130 – 160

CRM	Estufas (DS)	Ar interior da estuda	140
	Estufas (CR1)	Ar interior da estufa	100 – 160
	Prensas (CR1)	Superfície de contato (prato)	150
	Estufas (CR2)	Ar interior da estufa	100 – 160
	Estufas (Transf.)	Ar interior da estufa	60 – 90
	Estufa (AGEC)	Ar interior da estuda	145
CHC	Prensa	Superfície de contacto (prato)	170 – 190
CCS	Prensa	Superfície de contacto (prato)	90

2.3 Caudalímetros

Na figura 8 podemos ver um caudalímetro instalado no sistema de tubagem na fábrica. São considerados universais pois permitem medir caudais volúmicos de líquidos, gases ou vapor. Dada a elevada robustez no tocante à pressão e temperatura, estes aparelhos são considerados medidores de excelência para aplicações de contagem de vapor ou energia. Cada caudalímetro tem um sensor de temperatura incorporado e possibilidade de ser ligado por comunicação digital ou analógica. [9]

O equipamento é um medidor de caudal multivariável com medição de vapor húmido em linha. A sua opção de calibração garante excelente precisão de medição e alta disponibilidade da fábrica em gamas de baixo caudal de gás, vapor e líquidos. [9]

Estes equipamentos possuem uma tecnologia inovadora, a tecnologia *Heartbeat*, que é responsável pela garantia de segurança de toda a instalação assim como da sua qualidade, através de verificações periódicas ao caudalímetro sem interromper o seu processo de medição. É um teste devidamente certificado de acordo com a norma ISO 9001. [10]



Figura 8 - Caudalímetros instalados ao longo da tubagem.

Características:

- Erro máximo de medição de caudal (líquido): $\pm 0,75 \%$;
- Erro máximo de medição de caudal (vapor): $\pm 1,00 \%$;
- Intervalo de medição de caudal (líquido): 0,076 a 2100 m³/h;
- Intervalo de medição de caudal (vapor): 0,39 a 28000 m³/h;
- Intervalo de medição de temperatura: -200 a +400 °C. [9]

A fábrica tem, no total, doze caudalímetros instalados. Imediatamente à saída das caldeiras, existe o caudalímetro da fábrica, que é responsável por medir o caudal total enviado pela caldeira para as unidades industriais. Na figura 9 podemos analisar o sistema de caudalímetros. Para simplificar o esquema, o caudalímetro imediatamente após o coletor de avanço representa um total de oito (coletor principal) em que cada um é responsável por medir o caudal de termofluido à chegada de um respetivo consumidor.

Existe ainda um coletor 2 que representa os três restantes caudalímetros, que medem o caudal à chegada de três consumidores. Existem dois circuitos de energia: avanço e retorno. O avanço é responsável por levar a energia térmica para as áreas industriais e o retorno por levar de volta para a caldeira a energia que não foi capaz de ser permutada, para ser reaquecido. No retorno temos instaladas sondas de temperatura que medem a temperatura à saída de cada área. Na figura 10 podemos observar o esquema simplificado o circuito de termofluido entre a caldeira e um secador.

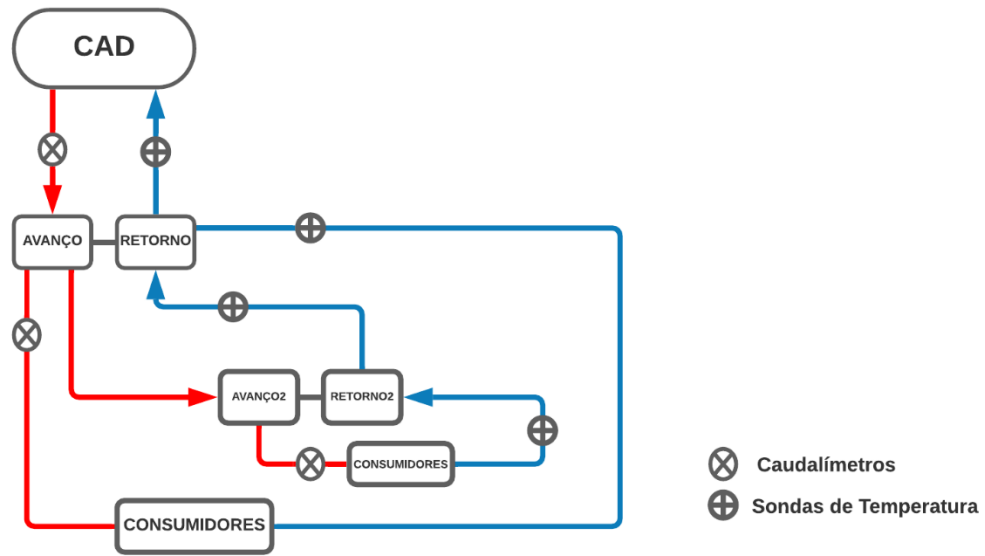


Figura 9 - Sistema de caudalímetros.

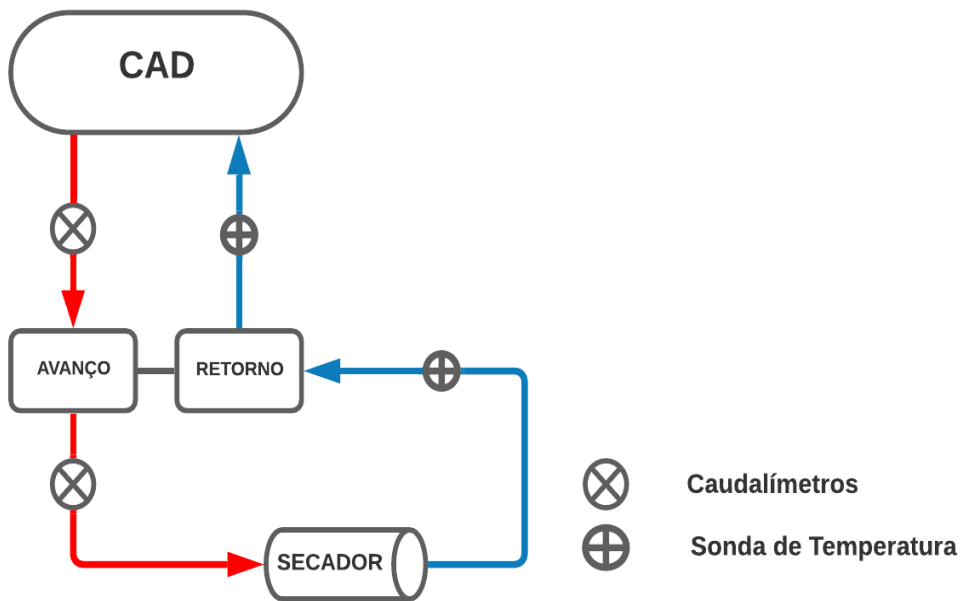


Figura 10 - Caudalímetro no circuito de termofluido para o exemplo de um secador.

No gráfico da figura 11 observamos, na linha verde, o caudal medido no caudalímetro da fábrica (à saída das caldeiras) em cada mês. As restantes linhas representam os valores médios mensais dos caudais à chegada de cada consumidor. Teoricamente, a soma destes deveria ser igual ao caudal da fábrica, no entanto, em virtude da combinação dos erros de medição de todos estes caudalímetros, há um erro de cerca

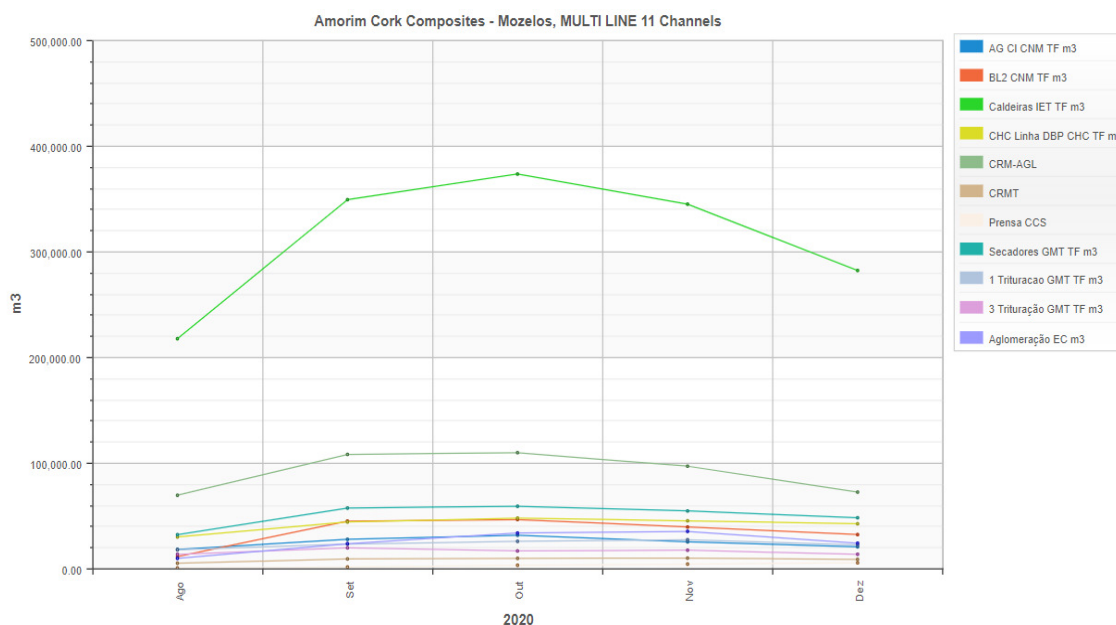


Figura 11 - Caudal medido por mês.

de 2%, entre a medição do caudalímetros da fábrica e a soma das medições dos caudalímetros dos consumidores, que é bastante pequeno.

2.4 Sistema de gestão de energia

Um Sistema de Gestão de Energia (SGE) tem como missão dar uma visão global e centralizada do estado de funcionamento de toda a instalação estabelecendo padrões de consumo e facilitando o conhecimento dos consumos específicos dos principais sectores/equipamentos. A experiência baseada em casos reais demonstra que a implementação destes sistemas conduz a poupanças significativas de energia. A realização de uma avaliação energética inicial constitui requisito obrigatório para qualquer instalação que pretenda implementar um SGE, segundo a ISO 50 001. Esta norma consiste num documento normativo internacional com um conjunto de requisitos que permite às organizações implementarem um SGE baseado num compromisso de melhoria do seu desempenho energético.

A aquisição dos dados para monitorização de energia é assegurada através de um sistema de gestão de energia, denominado *SW E+Monitor*, que permite recolher dados através de diversos equipamentos de medição, e transmiti-los, sucessivamente, para concentradores e para base de dados, que procede ao tratamento destes, como está

representado na figura 12. Este sistema está configurado para diversas medições, com periodicidade de integração a cada 15 minutos, da energia elétrica, em kWh, da biomassa em kg, posteriormente transposta para kWh, gás natural em m³, também posteriormente transposta para kWh. [11]

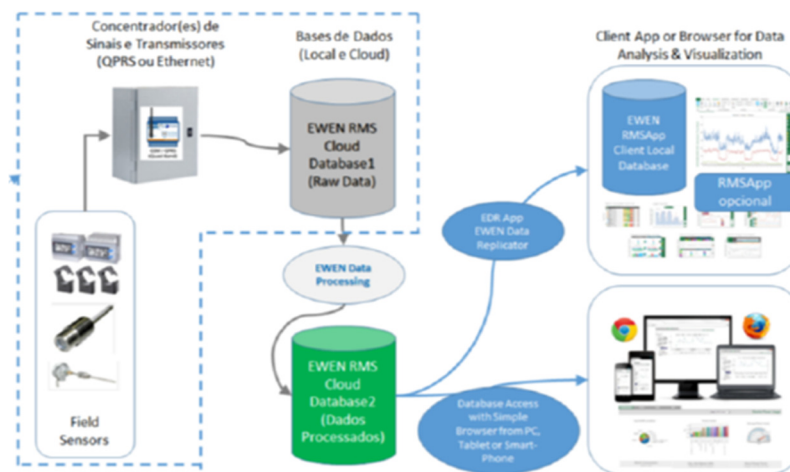


Figura 12 - Fluxo de dados do sistema de gestão de energia.[11]

É nesta plataforma, *E+Monitor*, que realizamos o tratamento dos dados relativos à gestão de energia da empresa. Como já foi referido anteriormente, os caudalímetros estão colocados à chegada de cada unidade industrial, o que permite uma gestão detalhada do consumo de cada área e de uma determinada fonte de energia. Na figura 13, podemos ver as fontes de energia que esta plataforma permite gerir:

- Energia Elétrica;
- Gás Natural;
- Biomassa.



Figura 13 - Informação gerada pelo sistema de gestão de energia. [12]

Na tabela 6 estão representados os dados, retirados do SGE, do consumo anual dos diferentes tipos de energia relativos ao ano 2019, em kWh. Verificamos que a energia proveniente da queima da biomassa é a mais utilizada, seguida da energia elétrica. O gás natural e o gasóleo são as fontes de energia menos utilizadas, mas ainda assim considera-se que têm consumos significativos.

Tabela 6 - Consumo anual das diferentes fontes de energia da empresa, em kWh. [11]

EE (kWh)	GN (kWh)	Biomassa (kWh)	Gasóleo (kWh)
24 602 445	725 048	34 790 396	515 523

Estas fontes de energia apresentam várias finalidades, nomeadamente:

- Iluminação;
- Despoeiramento;
- Ar Comprimido;
- Produção de Vapor;
- Produção de energia térmica via termofluido;
- Transportes;
- Trituração de granulado de cortiça;
- Secagem de granulado de cortiça;
- Aglomeração de granulado de cortiça;
- Laminagem de blocos e cilindros;
- Acabamento de diversos aglomerados de cortiça;
- Embalagem.

Cada unidade industrial, organizadas de acordo com a tipologia do produto produzido, usufrui de vários tipos de energia. Ao analisar a tabela 7 concluímos que todas as áreas

industriais necessitam de energia térmica proveniente do termofluido, a energia térmica, o que obriga a tirar o melhor proveito da rede de tubagens que é responsável por transportá-lo para os diferentes consumidores. É importante que a tubagem esteja bem isolada e que isso seja constantemente verificado através de manutenções preventivas para evitar fugas e consequentemente perdas de calor significativas. [11]

Tabela 7 - Tipo de energia associado a cada unidade industrial. [11]

Unidade Industrial	Tipo de Energia Associado
GMT	TF, Vapor, EE e GN
CCS	TF e EE
CHC	TF, GN e EE
CNM	TF e EE
CRM	TF, Vapor e EE
IET	EE, Biomassa e GN

Já foi referido anteriormente que, apesar de todas estas fontes de energia assegurarem o fornecimento energético da fábrica, podemos analisar o gráfico da figura 14, que nos indica todas as fontes de energia da fábrica, mas desta vez sob a forma de percentagem. Interessa focar que a maior parte da energia utilizada provém da biomassa, cerca de 57% do total de energia: mais de metade da energia consumida pela fábrica é energia que provém dos desperdícios dos vários processos de produção das unidades industriais. [11]

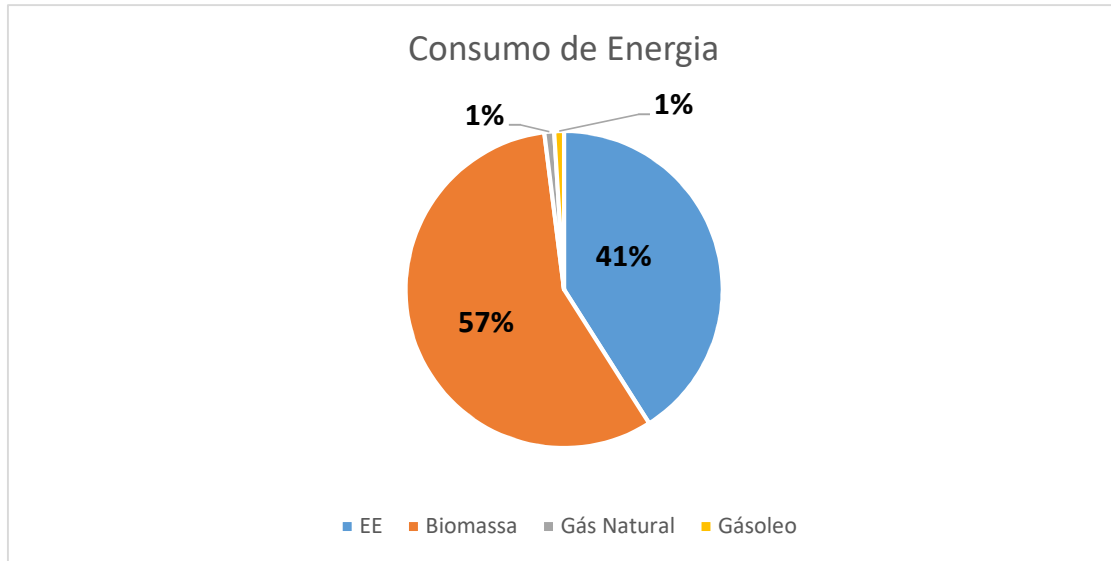


Figura 14 - Distribuição do consumo de energia da empresa.

2.5 Termofluido

Os fluidos térmicos mais comuns são: o ar, a água líquida, o vapor de água e os óleos térmicos (termofluido). A escolha de um tipo de fluido térmico, tanto no estado líquido como no estado gasoso, é efetuada de acordo com os seguintes fatores: gama de temperaturas do processo, pressão do sistema e taxa de transferência de calor necessária.

Essa escolha é um passo decisivo uma vez que irá influenciar vários fatores como, por exemplo, a temperatura máxima de operação, a pressão do sistema, o tempo de ciclo e o consumo energético do processo fabril.

Pode-se considerar como fluido térmico, na realidade, todo e qualquer fluido que em um determinado sistema cumpra o papel de transportador de energia térmica da fonte produtora (aquecedor ou caldeira), para o ponto de consumo. Com isto, um dos mais populares fluidos térmicos que conhecemos é a água, seja na fase líquida ou na fase vapor. Porém denominamos tecnicamente de “fluido térmico” os fluidos especificamente desenvolvidos para trabalhar como meio de ligação entre a fonte de energia térmica e um ponto de consumo de calor. Os fluidos térmicos podem ser orgânicos ou sintéticos, dependendo de sua aplicação e principalmente da sua temperatura de operação. As temperaturas de funcionamento destes fluidos rodam normalmente entre os 180 e os 400 °C.

Uma característica fundamental a considerar no óleo é a sua estabilidade à oxidação. As condições de trabalho a que o óleo está sujeito provocam o seu aquecimento, sendo que as temperaturas elevadas aceleram o processo de oxidação, ou seja, quanto mais

alta é a temperatura, mais rápida é a oxidação. Esta também ocorre devido ao contacto do óleo com ar, por exemplo com o aparecimento de pequenas bolhas de ar no sistema. Outra característica importante do óleo térmico deve ser a sua estabilidade térmica, isto é, a sua capacidade de conservação da sua estrutura química. O fenómeno em que esta alteração da estrutura química acontece é designado de pirólise, fenómeno este que aumenta à medida que a temperatura do óleo também aumenta. [13]

O óleo térmico que circula na fábrica é o GALP TERMOIL 32, um óleo mineral inibido contra a oxidação, utilizado principalmente para transferência de calor em instalações térmicas como fluido térmico em fase líquida.

As principais propriedades deste óleo são:

- Boa estabilidade térmica;
- Elevada resistência à corrosão;
- Elevada vida útil;
- Elevado índice de viscosidade;
- Elevada fluidez (o que permite uma circulação fácil a baixas temperaturas);
- Não ataca os metais normalmente utilizados nas instalações térmicas.

A potência térmica libertada pela combustão do pó de cortiça nas caldeiras é absorvida pelo óleo que circula no interior dos tubos, no módulo superior da caldeira, sendo a temperatura ideal de saída do óleo das caldeiras entre os 235 °C e 245 °C. O termofluido abandona a caldeira e é depois distribuído pelos vários equipamentos consumidores de calor, como é o caso das moldadoras, aquecedor de ar usado para secar o pó de cortiça e tanque de aquecimento de água usada nos processos de lavagem. Na figura 15 podemos analisar detalhadamente toda a rede de distribuição de termofluido para as áreas industriais. [14]



Figura 15 - Rede de termofluido da fábrica.

2.6 Biomassa

Existe uma gama variada de combustíveis disponíveis no mercado no setor industrial para a produção de energia térmica, destacando-se o fuelóleo, o gás propano, o gás natural, o gasóleo e a biomassa.

Biomassa é a matéria orgânica, quer seja de origem vegetal quer animal, que pode ser utilizada como fonte de energia. A biomassa, depois do sol, é uma das mais antigas fontes de energia, utilizada pelo Homem. [18]

Sendo uma das alternativas mais promissoras, a biomassa, que inclui os resíduos florestais, agrícolas, e todos os resíduos orgânicos biodegradáveis originados pelo homem e animais, é bastante flexível podendo ser utilizada na sua forma pura ou processada originando biocombustíveis.

Estes combustíveis são adquiridos em unidade de massa (toneladas ou quilogramas) ou de volume (metros cúbicos ou litros).

Na seleção do combustível, de modo a obter a máxima eficiência energética e económica, devem ainda ter-se em consideração os seguintes aspetos:

1. Custo;
2. Disponibilidade do recurso junto do ponto de consumo;
3. Qualidade de combustível (poder calorífico, contaminações, humidade, etc.);
4. Repercussões ambientais;
5. Segurança.

O termo biomassa descreve todos os materiais que podem ser convertidos em energia útil como madeira, resíduos urbanos ou florestais, grãos, etc. [15] Um fator muito importante foi a assinatura do Protocolo de Kyoto, em 1997, em que ficou estabelecido que os países em vias de desenvolvimento deveriam reduzir significativamente emissões de gases com efeito de estufa, determinando que as energias renováveis deveriam passar a ocupar uma posição de destaque energético mundialmente. [15]

Quando queimamos o combustível, este liberta uma quantidade de energia, sob a forma de calor, proporcional ao peso do seu material. A este calor libertado durante a queima dá-se o nome de poder calorífico inferior (PCI), se não for levado em conta o calor latente de condensação da água nos fumos, e o poder calorífico superior (PCS) inclui o calor latente de condensação da água nos fumos. [16] O PCI é poder calorífico mais relevante pois não se condensa, normalmente, o vapor de água contido nos fumos, à saída das caldeiras.



Podemos referir que quanto maior é a energia libertada sob a forma de calor durante a queima, maior é o seu poder calorífico, o que mostra que esta propriedade seja fundamental para uma correta avaliação de um combustível. [17]

Um fator importante que influencia diretamente o PCI do combustível, é o teor de humidade contido no mesmo. Ao queimar a biomassa húmida, a água é evaporada e, portanto, parte da energia libertada na combustão é gasta nessa evaporação. Concluimos então que quanto maior for o teor de humidade de um determinado combustível, menor será a quantidade de energia libertada sob a forma de calor durante a queima.

Para uma boa escolha e análise de uma determinada biomassa, é muito importante avaliar o seu PCI. Além do pó de cortiça já referido anteriormente, a empresa utiliza ainda um combustível alternativo para gerar energia através da sua combustão. Trata-se de PKS (casca de palma) cujo PCI é cerca de 18,1 MJ/kg. Existem, no entanto, outros tipos de biomassa que podemos utilizar. No entanto, é sempre importante analisar o seu PCI para verificar a compensação da sua aquisição. Na tabela 8 podemos ver alguns tipos de biomassa, além do pó de cortiça, analisados pela empresa. Mais à frente estes tipos de biomassa serão apresentados mais detalhadamente.

Tabela 8 - Tipos de biomassa analisados pela empresa.

Designação	PCI (MJ/Kg)	Amostra
Terras	16,78	 Figura 16 - Amostra de pó grosso (terras).
Pó fino	23,70	 Figura 17 - Amostra de pó fino.
Casca de palma	18,09	 Figura 18 - Amostra de casca de palma.
Pellets	17,30	 Figura 19 - Amostra de pellets.

Caroço de azeitona	16,22	 <p>Figura 20 - Amostra de caroço de azeitona.</p>
Casca de amêndoa	17,58	 <p>Figura 21 - Amostra de casca de amêndoa.</p>

DESENVOLVIMENTO

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Energia entregue

A energia produzida na caldeira é transportada através do fluido intermediário (termofluido), ao longo das tubagens até aos equipamentos consumidores. Nesses equipamentos processa-se uma segunda permuta entre o fluido térmico e o meio a aquecer. O fluido térmico, após ceder energia ao consumidor, regressa à caldeira para ser reaquecido. Foi realizada uma análise da distribuição de energia térmica por áreas, nos nossos meses de referência agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020. Foi efetuado um balanço entre a energia térmica consumida e a quantidade produzida da respetiva área industrial.

GMT

No caso do GMT, temos câmaras de expansão (figura 22) e secadores (figuras 23 e 24). Os secadores verticais são aqueles que consomem mais energia nesta unidade industrial, seguido da terceira trituração e finalmente da primeira.



Figura 22 – Câmara de expansão.



Figura 23 – Secador vertical.



Figura 24 - Secador horizontal.

A primeira trituração produz mais e gasta menos energia em relação à terceira, porque não realiza a operação de secagem final (até aos 6% de humidade), mas sim uma secagem intermédia (até cerca de 12%). Então, a terceira trituração gasta mais do que a primeira pois está sujeita a matéria-prima com maior humidade. No gráfico da figura 25 podemos analisar a relação entre a produção e o consumo de energia térmica.

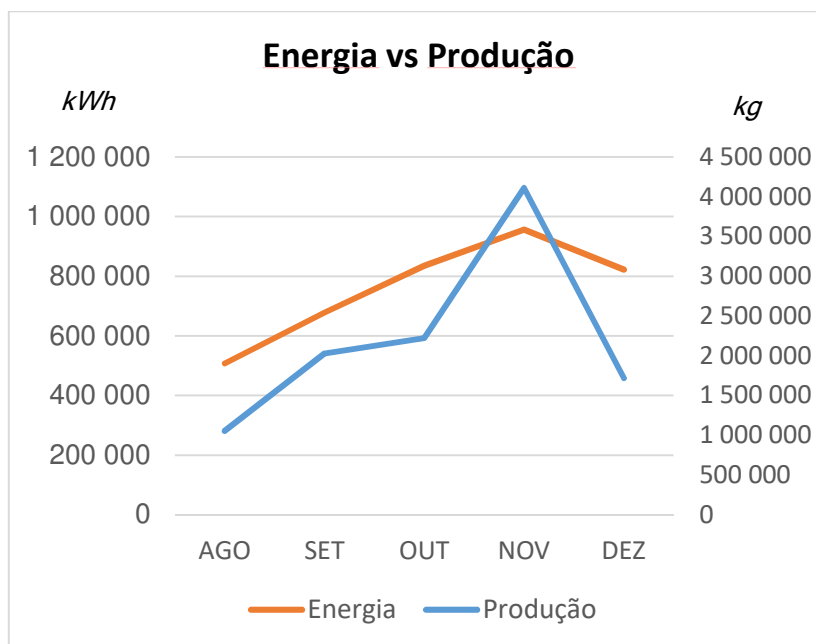


Figura 25 - Relação entre consumo de energia e produção do GMT.

CRM

No caso de CRM temos como consumidores de energia térmica estufas (figura 27) e prensas (figura 26). A aglomeração é a área que consome mais energia e também a área que produz mais quantidade, em unidades, de blocos e cilindros face à área da economia circular. A transformação de placas e rolos de cortiça não tem grande significado pois são apenas pequenas estufas de aquecimento.



Figura 26 - Prensa CRM.



Figura 27 - Estufa CRM.

Ao analisar o gráfico da figura 28, verificamos que o consumo de energia térmica é praticamente equivalente à produção de aglomerado de cortiça, em unidades, em toda esta unidade industrial.

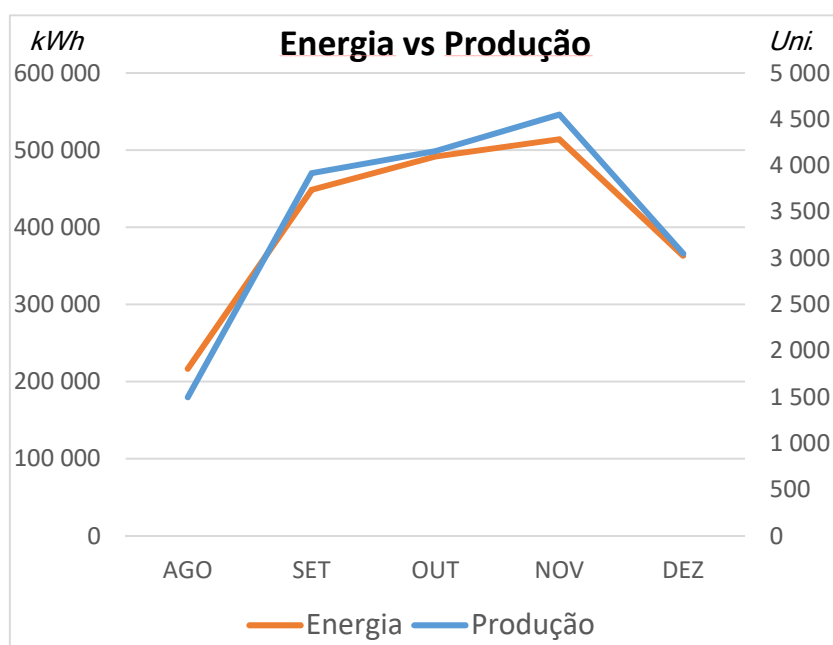


Figura 28 - Relação entre consumo de energia e produção do CRM.

CNM

Na unidade industrial CNM temos como consumidores de energia térmica apenas estufas, quer na aglomeração de cilindros (figura 30), quer na aglomeração de blocos (figura 29). A área de aglomeração de cilindros é o maior consumidor desta unidade, uma vez que também é o maior produtor de cilindros, em unidades.



Figura 30 - Estufa de cilindros do CNM.



Figura 29 - Estufa de blocos do CNM.

Ao analisar o gráfico da figura 31, verificamos que o consumo de energia térmica é praticamente equivalente à produção de cilindros e blocos, em unidades, em toda esta unidade industrial.

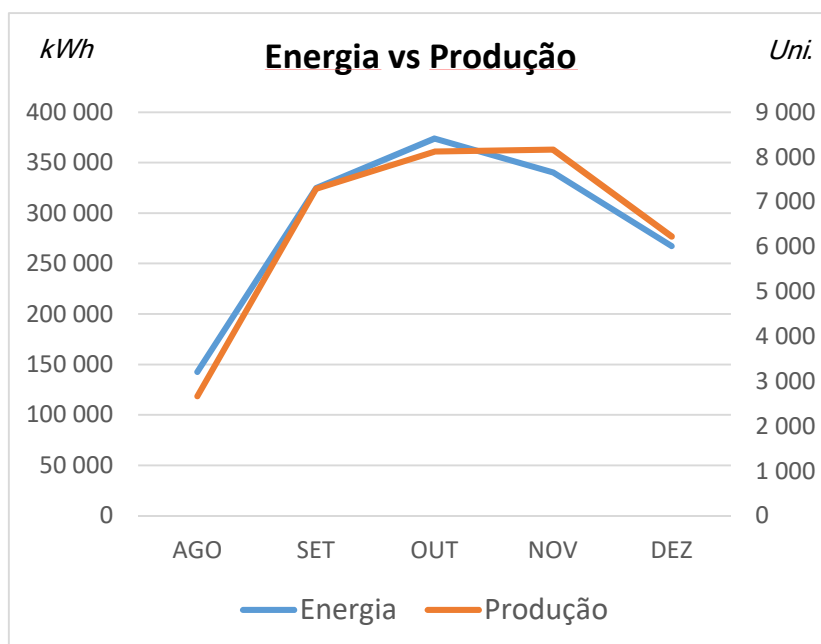


Figura 31 - Relação entre consumo de energia e produção de CNM.

CHC

No CHC temos um dos maiores consumidores de energia térmica da fábrica, a prensa, representada na figura 32, que nos mesmos cinco meses de referência consumiu cerca 2 milhões de kWh de energia térmica. A prensa é a única consumidora desta unidade industrial.



Figura 32 - Prensa do CHC.

Por último, ao analisar o gráfico da figura 33, verificamos que o consumo de energia térmica também é praticamente equivalente à produção de rolos de alta densidade, em unidades, em toda esta unidade industrial.

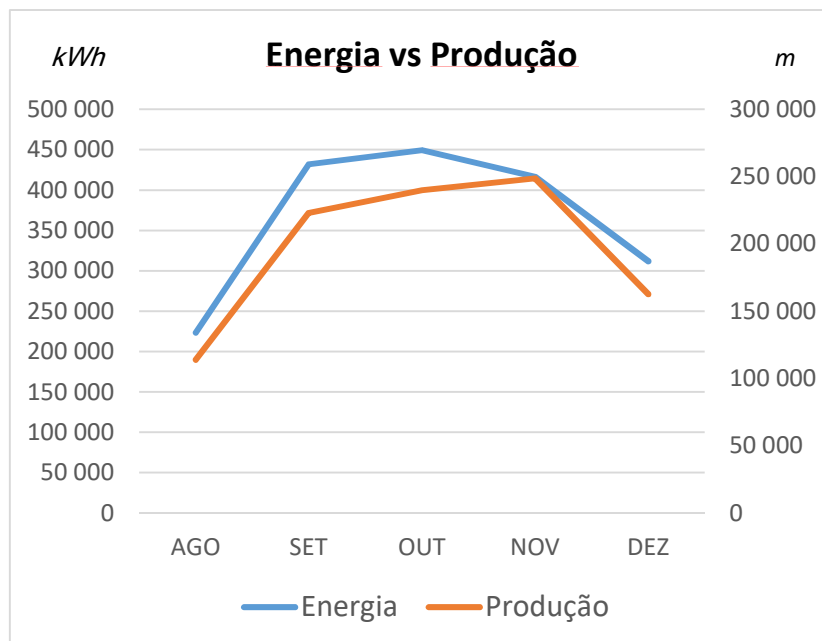


Figura 33 - Relação entre consumo de energia e produção do CHC.

Ao analisar a figura 34, verificamos que a unidade industrial que mais consome energia térmica é o GMT, seguido do CRM, CHC, CNM e pouco significativo, segue-se o CCS. No gráfico da figura 35, reparamos que a energia térmica útil debitada pela caldeira é praticamente equivalente ao total de energia consumida por todas as áreas. No entanto, dada a toda a complexidade de todo o sistema e das perdas em todo o circuito, podemos verificar um erro máximo de 2%, o que é bastante pequeno. Todos estes dados são retirados do SGE, relativos à média dos meses de referência anteriormente identificados: agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020.

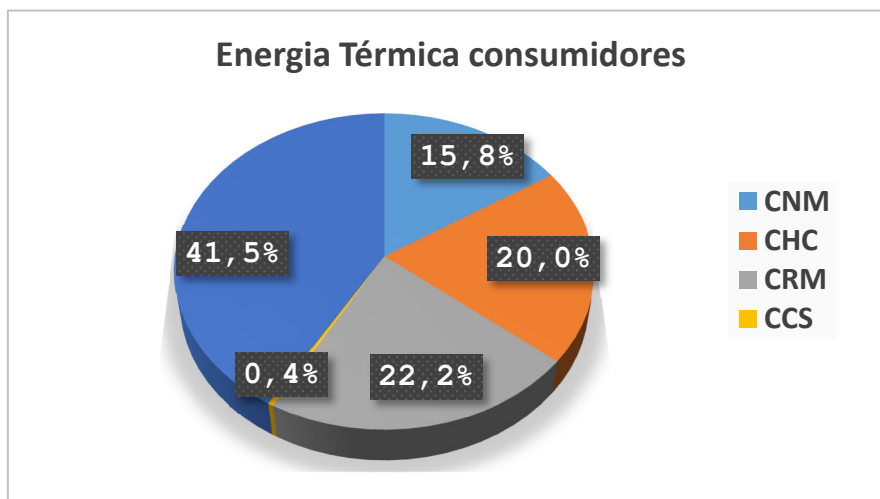


Figura 34 - Consumo de energia térmica por unidade industrial.

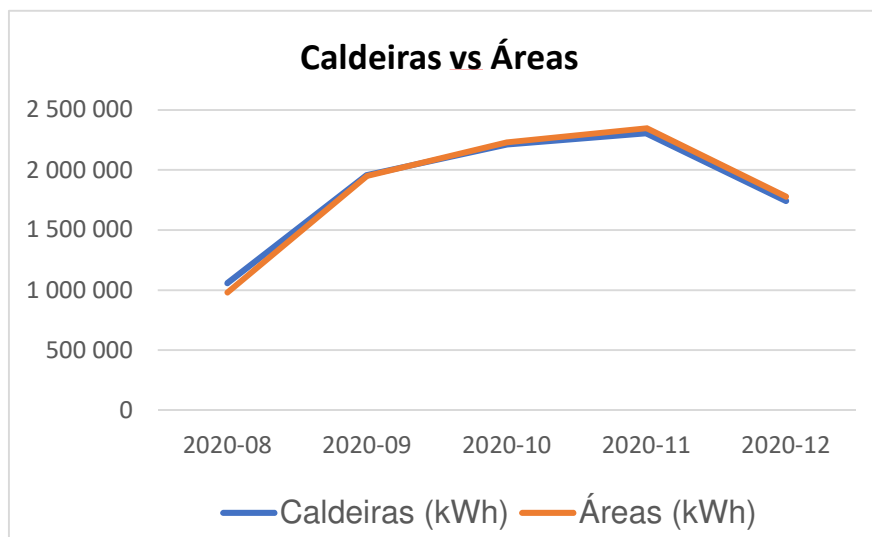


Figura 35 - Energia térmica debitada pela caldeira vs energia térmica consumida pelas áreas.

3.2 Balanço económico

3.2.1 Balanço económico inicial

Após o estudo da distribuição e consumos de energia térmica por cada área industrial, passemos à análise do balanço económico da caldeira, isto é, todos os custos associados à caldeira no que diz respeito à produção de energia térmica: custos operacionais, custos de energia elétrica e biomassa externa (alternativa). Estes três custos são totalmente debitados ao departamento responsável pela gestão das caldeiras. No entanto, presentemente, a caldeira fornece energia para as unidades industriais sem qualquer custo associado para estas, ou seja, a caldeira paga todos estes custos acima referidos e consequentemente distribui energia de forma gratuita para as áreas. Consideramos assim que o balanço económico é negativo, como representado na figura 36.

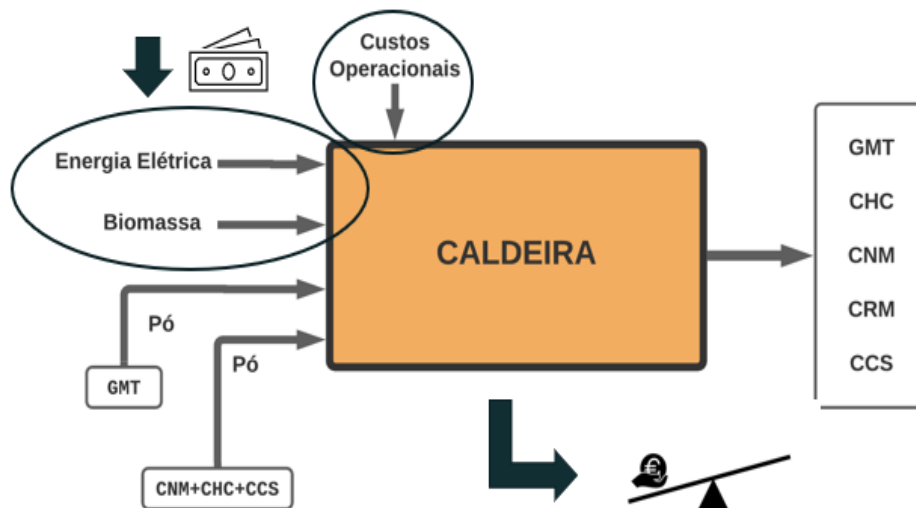


Figura 36 - Balanço económico inicial.

3.2.2 Balanço económico final

O objetivo é equilibrar este balanço económico. A caldeira, além de pagar os custos já acima referidos vai, daqui em diante, também começar a pagar às unidades industriais o pó de cortiça proveniente das mesmas (ao GMT no caso do pó grosso e ao CNM, CHC e CCS no caso do pó fino). Para isso foi criada uma tarifa que mais à frente será explicada detalhadamente. Em contrapartida, a caldeira vai também começar a debitar a energia térmica fornecida para as unidades, ou seja, estas vão passar a pagar a energia térmica que consomem, também através de uma tarifa calculada com base em todos os custos

associados. Estas novas tarifas vão então equilibrar as contas da caldeira, como podemos ver na figura 37.

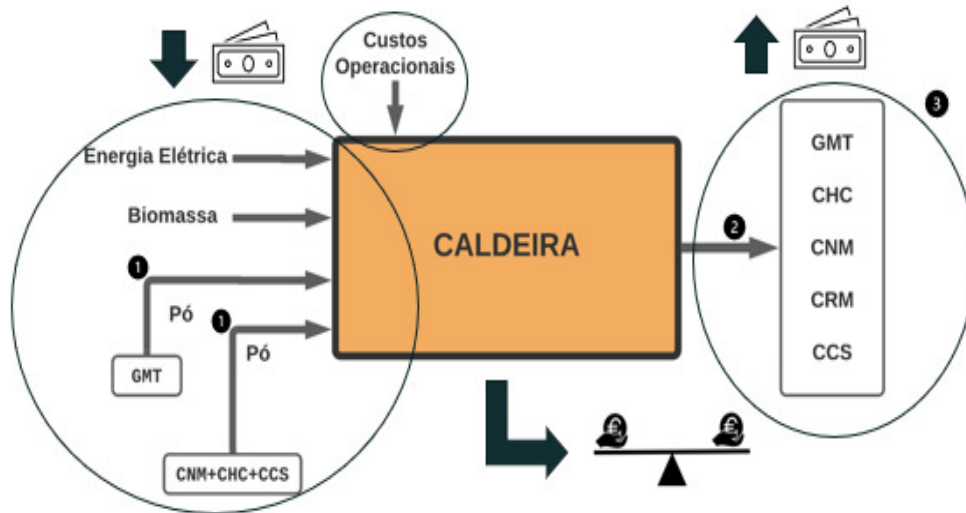


Figura 37 - Balanço económico final.

3.2.2.1 Custos operacionais

Na figura 38 temos especificados os custos operacionais por parte da caldeira. Existem os chamados gastos operacionais, que consistem nos gastos em manutenção, recursos humanos, amortizações e resíduos. A energia elétrica, que é a fonte de energia dos sistemas auxiliares da caldeira, mais precisamente dos sistemas de ventilação, insuflação e bombagem do transporte da biomassa dos respetivos silos até à caldeira. E finalmente os custos de energia primária, a biomassa interna (pó de cortiça) e a biomassa externa. Neste caso são apresentados três diferentes tipos de biomassa estudados internamente: a casca de amêndoa, o caroço de azeitona e a casca de palma (PKS). Os meses que vamos utilizar como referência são os mesmos que referimos anteriormente: agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020.

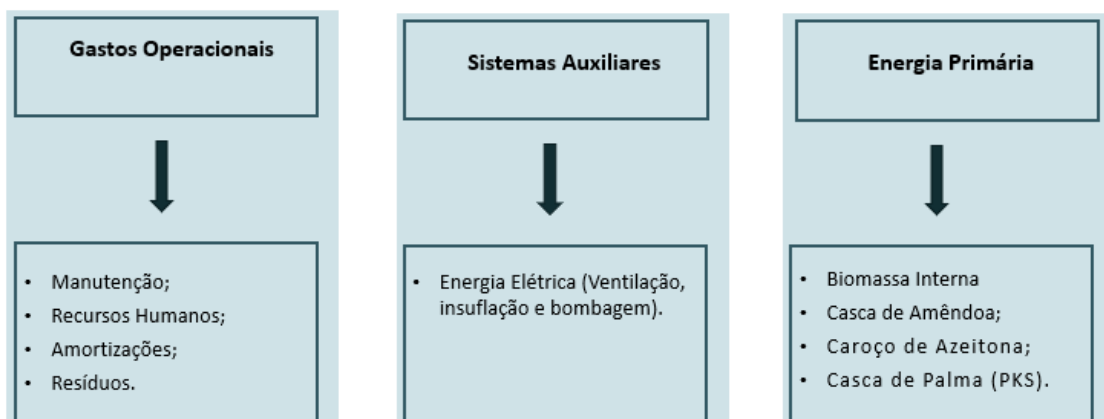


Figura 38 - Custos operacionais.

Os valores estudados foram fornecidos pelo controlo de gestão, representados na tabela 9, relativamente aos gastos operacionais. O maior valor de gastos operacionais é o das amortizações, seguido de manutenções, biomassa externa, recursos humanos e resíduos.

Tabela 9 - Gastos operacionais.

2020	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
MAN (€)	13 k	26 k	15 k	10 k	21 k	85 k €
RH (€)	5 k	10 k	11 k	10 k	7 k	43 k €
Amortizações (€)	13 k	24 k	36 k	27 k	15 k	115 k €
Resíduos (€)	2 k	2 k	2 k	2 k	2 k	10 k €
Biomassa Externa (€)	13 k	13 k	13 k	13 k	13 k	65 k €
TOTAL (€)						309 k €

Relativamente aos sistemas auxiliares, estes têm como fonte de energia, a eletricidade e na tabela 10 podemos ver, nos mesmos meses de referência, a energia consumida por esses sistemas e o respetivo custo. No total dos cinco meses foram gastos cerca de 503 mil kWh de energia elétrica, que corresponde a cerca de 43 mil euros.

Tabela 10 - Custo da energia elétrica dos sistemas auxiliares.

Mês	Consumo (kWh)	Custo (€)
Agosto	74 k	6 k
Setembro	112 k	10 k
Outubro	119 k	10 k
Novembro	116 k	10 k
Dezembro	85 k	7 k
TOTAL	506 k	43 k

3.2.3 Tarifa do pó de cortiça

A humidade, o teor de cinzas e o seu poder calorífico são as características mais relevantes na escolha de uma biomassa para utilizar na queima. Como já foi dito anteriormente, o PCI é a quantidade de energia calorífica libertada por unidade de massa, contanto que o vapor dos fumos não condense. Apresenta- no caso da tabela 11, em Mega Joule por Quilograma. Analisando os dados desta tabela, conseguimos

verificar no pó grosso uma humidade e um teor de cinzas mais elevado e um PCI mais baixo. Percebemos então que o pó fino representa uma biomassa com mais qualidade na queima, no entanto, este pó proporciona uma queima instável. Apesar disso, funciona muito bem misturado com outros tipos de biomassa.

Tabela 11 - Características do pó fino.

Pó Fino		Pó Grosso	
Humidade (%)	6,5	Humidade (%)	13,3
Teor de cinzas (%)	1,3	Teor de cinzas (%)	9,1
PCI (MJ/Kg)	23,70	PCI (MJ/Kg)	16,78



Figura 39 - Pó fino (esquerda) e pó grosso (direita).

Relativamente à biomassa florestal ou externa, foram estudados três tipos de biomassa. A casca de palma (PKS) é o combustível cuja disponibilidade é total, tem estabilidade no processo de armazenamento e queima, e é a alternativa mais viável em termos operacionais. Na tabela 12 podemos verificar que o seu PCI é de 18,09 MJ/kg e o seu custo de aquisição é de 126 €/ton.

O caroço de azeitona também foi estudado, e o seu teste como biomassa foi impulsionado pelo negócio, ou seja, foi queimado caroço na fornalha da caldeira que estava fora de especificação para aplicação interna num determinado projeto. Analisando a tabela verificamos que o seu PCI é de 16,22 MJ/kg e o seu custo de aquisição é de 130 €/ton.

A casca de amêndoa, foi a última biomassa a ser estudada. O seu PCI é de 17,57 MJ/kg e o seu custo de aquisição é de 87€/ton.

Todas estas biomassas apresentam humidade e teor de cinzas mais ou menos equivalente. O seu PCI também não varia muito. Com isto, podemos concluir que são três alternativas similares e, portanto, devem ser totalmente analisadas para posteriormente criar as devidas tarifas.

No anexo 6.1 podemos ver as características do pó fino, determinadas detalhadamente em laboratório.

Tabela 12 - Características dos tipos de biomassas estudadas.

Biomassa Características	PKS	Casca de amêndoa	Caroço de azeitona
Humidade (%)	10	10	12,1
Teor de cinzas (%)	1,3	1,2	1,1
PCI (MJ/Kg)	18,09	17,57	16,22
Preço (€/ton)	126	87	130
Sazonalidade	-	Set – Abr	Set – Abr
Disponibilidade	Total	Total	Total

3.2.4 Tarifa do pó

A tarifa do pó é o valor que a gestão das caldeiras vai pagar pelo pó de cortiça utilizado na queima. Como foi dito anteriormente, o PCI também pode ser representado em kWh/Kg, e sabemos que quanto maior for o PCI maior é a energia libertada pela queima. Logicamente que o custo de aquisição do pó, em €/ton, é um fator muito importante e determinante na escolha de uma biomassa alternativa. No entanto, em alternativa podemos pensar na energia térmica que conseguimos retirar do processo de combustão. Deste modo, foi criado um novo termo que denominamos como custeio calorífico, que é o quociente entre o custo de aquisição do combustível e o seu respetivo PCI, que vai resultar em €/kWh, ou seja, o preço por cada kWh de energia que a biomassa consegue gerar.

$$\text{Custeio Calorífico} = \frac{\text{Custo}}{\text{PCI}} = \frac{\frac{\text{€}}{\text{Kg}}}{\frac{\text{kWh}}{\text{Kg}}} = \text{€/kWh} \quad (1)$$

Na tabela 13, podemos analisar o custeio calorífico de cada uma das biomassas alternativas a analisar. O custo de aquisição da casca de amêndoa é apresentado na tabela 13 com um valor diferente do apresentado anteriormente, pois na última amostra desta biomassa analisada internamente, a humidade medida à chegada foi de 34%, bastante superior aos 10% tabelados. Aplicando o devido desconto de humidade, e caso a casca de amêndoa tivesse sido comprada com 34% de humidade, o custo de aquisição seria de 126 €/ton, valor este que vamos utilizar no cálculo do custeio calorífico, uma vez que se trata de um valor real. É por isso muito importante medirmos

a humidade à chegada, para confirmar se o valor de humidade está aproximado do valor que é fornecido pelo fornecedor.

Ao analisar a tabela 13, percebemos que o PKS torna-se a melhor alternativa para ser a base desta tarifa, uma vez que apresenta o menor custeio calorífico, cerca de 0,0251 €/kWh. Além disso é a biomassa alternativa que temos vindo a utilizar de forma mais recorrente e da qual temos disponibilidade total.

Tabela 13 - Custeio calorífico de biomassas externas.

Característica Biomassa	PCI (MJ/Kg)	PCI (kWh/ton)	Custo (€/ton)	Custeio Calorífico (€/kWh)
PKS	18,09	5025,00	126,00	0,0251
Caroço de Azeitona	16,22	4505,56	130,00	0,0289
Casca de Amêndoa	16,22	4883,33	126,00	0,0258

Ao utilizar como base o custeio calorífico do PKS, 0,0251 €/kWh, foi calculado o custo, em €/ton, da tarifa de ambas as biomassas internas, pó fino e pó grosso com a ajuda do seu respetivo PCI. Analisando a tabela 14, verificamos que o pó fino custa 165 €/ton e o pó grosso 116,88 €/ton. Estes são os valores que a gestão das caldeiras vai pagar às respetivas unidades industriais pela biomassa interna de acordo com aquilo que consumir.

Tabela 14 - Custeio calorífico da biomassa interna.

Característica Biomassa	PCI (MJ/Kg)	PCI (kWh/ton)	Custeio Calorífico (€/kWh)	Tarifa (€/ton)
Pó Fino	23,70	6583,30	0,0251	165,07
Pó Grosso	16,78	4661,10	0,0251	116,88

3.2.5 Tarifário

Relativamente ao tarifário, ou seja, a tarifa que as unidades industriais vão pagar pela energia térmica consumida, é calculado através do quociente entre os custos totais da caldeira, ou seja, aquilo que anteriormente denominamos de custos operacionais, em €, e a energia térmica debitada pela caldeira, em kWh. Os meses de base para o cálculo são também os meses de agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2020.

$$\frac{\text{Total de custos}}{\text{Energia Térmica Produzida}} = \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad (2)$$

O tarifário vai ter duas diferentes tarifas, ou seja, vai estar diferenciado à semana e ao fim de semana. Isto porque ao fim de semana deve ser cobrada uma tarifa superior, uma vez que a caldeira trabalha de igual modo, mas abastece menos áreas. Isto vai fomentar a eficiência operacional das mesmas (pois não querem pagar quando não estão a trabalhar) e vai também minimizar o consumo da caldeira, porque o caudal debitado pela mesma vai ser menor se as áreas efetuarem, por exemplo, o corte de caudal quando não estiveram a operar. Ao diminuir o caudal debitado pela caldeira, vai resultar numa diminuição de consumo de biomassa interna, biomassa externa, energia elétrica, manutenção e gastos com resíduos.

3.2.5.1 Tarifário – semana

Na figura 40 podemos ver o cálculo para o mês de novembro, no entanto a tarifa foi calculada com uma média dos meses de referência. Dividimos os custos por semana e, posteriormente, analisamos, com o auxílio do sistema de gestão de energia, os consumos de biomassa, energia elétrica e energia térmica. Dividindo os custos pela energia térmica debitada pelas caldeiras, obtivemos uma tarifa semanal no valor de 0,0549 €/kWh, como podemos ver na tabela 15.

SEMANA	NOVEMBRO			
	1º	2º	3º	4º
AMORTIZAÇÕES	4 367 €	4 367 €	4 367 €	4 367 €
RECURSOS HUMANOS	1 602 €	1 602 €	1 602 €	1 602 €
MANUTENÇÃO	1 600 €	1 600 €	1 600 €	1 600 €
RESÍDUOS	306 €	306 €	306 €	306 €
TOTAL	7 875 €	7 875 €	7 875 €	7 875 €
BIOMASSA ALTERNATIVO	2 166,67 €	2 166,67 €	2 166,67 €	2 166,67 €
PÓ GROSSO	11 154 €	11 199 €	10 590 €	11 129 €
PÓ FINO	962 €	1 123 €	1 066 €	946 €
EE	1 815 €	1 933 €	1 752 €	1 791 €
TOTAL	16 097 €	16 422 €	15 574 €	16 033 €
TOTAL CUSTOS	23 972 €	24 297 €	23 449 €	23 908 €
TERMOFLUIDO (kWh)	480 175	487 977	462 425	494 095

Figura 40 - Exemplo de cálculo da tarifa semanal.

Tabela 15 - Tarifa semanal.

SEMANAL	
Custos (€)	Operacionais
	Energia
Energia (kWh)	Caldeiras
↓	
Tarifa (€/kWh)	0,0549

3.2.5.2 Tarifa – fim de semana

O mesmo cálculo foi efetuado para os fins de semana. Neste caso o cálculo foi exatamente realizado nos mesmos meses de referência e em cada mês foram divididos os custos pelo número de fins de semana de cada mês. Analisamos também o sistema de gestão de energia, para ter acesso a todos os consumos necessários para o cálculo. Na figura 41 podemos ver um exemplo de cálculo para o mês de novembro. Dividimos novamente os custos pela energia e obtivemos uma tarifa de 0,1087 €/kWh, como podemos observar na tabela 16.

FIM-DE-SEMANA	NOVEMBRO			
	1º	2º	3º	4º
AMORTIZAÇÕES	1 747 €	1 747 €	1 747 €	1 747 €
RECURSOS HUMANOS	641 €	641 €	641 €	641 €
MANUTENÇÃO	640 €	640 €	640 €	640 €
RESÍDUOS	122 €	122 €	122 €	122 €
TOTAL	3 150 €	3 150 €	3 150 €	3 150 €
BIOMASSA ALTERNATIVO	867 €	867 €	867 €	867 €
PÓ GROSSO	2 101 €	2 432 €	1 947 €	2 245 €
PÓ FINO	51 €	81 €	108 €	3 €
EE	300 €	327 €	306 €	276 €
TOTAL	3 319 €	3 706 €	3 227 €	3 391 €
TOTAL CUSTOS	6 469 €	6 856 €	6 377 €	6 541 €
TERMOFLUIDO (kWh)	79846	85537	60994	76631

Figura 41 - Exemplo de cálculo da tarifa de fim de semana.

Tabela 16 - Tarifa de fim de semana.

SEMANAL	
Custos (€)	Operacionais
	Energia
Energia (kWh)	Caldeiras

↓

Tarifa (€/kWh)	0,1087
----------------	--------

Concluindo esta diferenciação e cálculo de duas tarifas distintas, uma para a semana e outra para o fim de semana, podemos dizer que há uma diferença enorme entre a diluição dos custos pela quantidade de energia produzida, ou seja, o peso dos custos fixos aumenta. A caldeira trabalha de igual modo para enviar energia para menos áreas, como já foi dito anteriormente.

3.3 Simulação do tarifário

Neste capítulo é elaborada uma simulação do débito de energia térmica para as unidades industriais, ou seja, o que estas vão pagar à gestão da caldeira pela energia que consomem e também uma simulação do crédito de biomassa interna, isto é, o valor pago pela biomassa a queimar na caldeira, pela gestão da caldeira às respetivas unidades industriais. Para esta simulação são utilizadas as tarifas previamente calculadas.

3.3.1 Débito de energia

Nesta parte do projeto é apresentada uma simulação. Através do SGE, foi possível extrair os dados de consumo de energia térmica, em kWh, de cada consumidor deste tipo de energia. Retirou-se estes mesmos consumos semanais e ao fim de semana, separadamente. Aplicou-se as devidas tarifas, representadas na tabela 17, e previamente calculadas e obtivemos o valor pago pela energia térmica por cada unidade industrial. Este estudo foi realizado num mês de referência em que a fábrica trabalhou dentro da normalidade. Analisando a tabela 18 e aplicando as devidas tarifas, verificamos que a área que mais gastou em energia térmica foi o GMT, cerca de 68 mil

euros. A segunda unidade que mais gastou foi o CRM, cerca de 34 mil euros, seguido do CHC, 27 mil euros, CNM, 24 mil euros e finalmente o CCS, com cerca de mil euros gastos.

Tabela 17 - Tarifas de energia térmica.

TARIFAS	
Tarifa Semana (€/kWh)	0,0549
Tarifa Fim de Semana (€/kWh)	0,1087

Tabela 18 – Simulação de débito.

Simulação	Semana (kWh)	Custo (€)	Fim de Semana (kWh)	Custo (€)	Total (€)	Grande Total (€)
CNM – AGCI	201 k	11k	51 k	5 k	16 k	24 k
CNM – BL2	111 k	6 k	20 k	2 k	8 k	
CRM – AGL	256 k	14 k	50 k	5 k	19 k	34 k
CRM – T	50 k	3 k	14 k	2 k	5 k	
CRM – EC	151 k	8 k	22 k	2 k	10 k	
GMT – SEC	458 k	25 k	112 k	12 k	37 k	68 k
GMT – 1ª T	276 k	15 k	49 k	5 k	20 k	
GMT – 3ª T	158 k	9 k	18 k	2 k	11 k	
CHC – Prensa	366 k	20 k	67 k	7 k	27 k	27 k
CCS – Prensa	13 k	0,7 k	4 k	0,4 k	1 k	1 k

3.3.2 Crédito de biomassa

Neste subcapítulo é analisada a simulação aplicando as tarifas do pó, presentes na tabela 19. Ou seja, o valor que a gestão da caldeira pagou pelo pó de cortiça às unidades industriais que fornecem o mesmo. Consideramos que 100 % do pó grosso é proveniente do GMT, mais especificamente da trituração da cortiça. Relativamente ao pó fino, existe uma dificuldade para saber a unidade industrial da sua origem, uma vez que a medição só é realizada imediatamente à entrada da caldeira quando este já está todo junto. Portanto, foi arbitrado que 60% do pó fino é proveniente do CNM, 30% do CHC e 10% do CCS. Consultou-se o SGE e obtivemos o consumo de biomassa interna, em kg, por parte da caldeira, como podemos observar na tabela 20. Aplicando então as respetivas tarifas, no mesmo mês de referência, a caldeira pagou cerca de 60 mil euros em pó grosso e cerca de 7 mil euros em pó fino.

Tabela 19 - Tarifas de biomassa interna.

TARIFAS	
Tarifa Pó Grosso (€/Kg)	0,1169

Tarifa Pó Fino (€/Kg)	0,1651
------------------------------	---------------

Tabela 20 - Simulação de crédito.

BIOMASSA INTERNA					
	Semana (Kg)	Tarifa (€)	Fim de Semana (Kg)	Tarifa (€)	Total (€)
Pó Grosso	413 k	48 k	105 k	12 k	60 k
Pó Fino	43 k	7 k	-	-	7 k

3.3.3 Resultados da simulação

Na tabela 21 podemos ver os resultados da simulação apresentada acima. Na primeira coluna podemos ver o valor pago pelas unidades industriais de acordo com a energia térmica consumida aplicando as devidas tarifas de semana e fim de semana. Na segunda coluna está discriminado o valor pago pela caldeira às unidades que fornecem o pó de cortiça, também aplicando as respetivas tarifas. A unidade industrial que tem o balanço negativo maior é o CRM, com balanço negativo de trinta e cinco mil euros uma vez que não fornece qualquer tipo de pó para a caldeira, devido ao facto de ser uma unidade de aglomeração de cortiça com borracha. As restantes quatro unidades pagam pela energia térmica que consomem e recebem pelo pó que fornecem. Ao analisar o resto da tabela, observamos que o CHC paga vinte e sete mil euros e recebe dois mil, o que resulta num balanço negativo de vinte e cinco mil euros. O CNM com balanço negativo de vinte e um mil euros. O GMT apresenta um balanço negativo de apenas sete mil euros uma vez que fornece a totalidade do pó grosso para a caldeira. O CCS, a unidade industrial menos significativa, apresenta um balanço negativo de aproximadamente trezentos euros.

Tabela 21 - Resultados da simulação.

BIOMASSA INTERNA			
ÁREA	A PAGAR (€)	A RECEBER (€)	TOTAL (€)
GMT	68 k	61 k	- 7 k
CNM	25 k	4 k	- 21 k
CRM	35 k	-	- 35 k
CHC	27 k	2 k	- 25 k
CCS	1 k	0,7 k	- 0,3 k

3.4 Eficiência operacional

Um ponto muito importante para o balanço económico é a eficiência operacional, por parte das áreas. Ou seja, como é que as áreas produtivas e a própria caldeira podem operar de maneira a tirar o melhor proveito deste tarifário, reduzir os consumos e pagar menos. Abaixo são apresentadas algumas melhorias e exemplos de boas práticas na utilização racional deste tipo de energia.

1. Garantir formas de minimizar o consumo das áreas em momentos de paragem, por exemplo, corte do caudal, através das válvulas de corte;

Através de dados da produção das áreas e da análise do SGE, verificaram-se todos os momentos de não produção e consumo de energia. Aplicando as devidas tarifas chegamos aos resultados apresentados na tabela 22. Podemos concluir que caso tivessem sido efetuadas estas medidas de corte de caudal nos dias de paragem (fins de semana) e o consumo fosse praticamente nulo, verificamos uma poupança estimada de cerca de 10 mil euros em energia térmica consumida por todas as áreas. Extrapolando isto para o total de um ano, as unidades poderiam ter poupado, em conjunto, cerca de 113 mil euros em energia térmica com esta medida de eficiência operacional.

Tabela 22 - Ganhos com a medida de corte de caudal em momentos de paragem.

UI	Área	Energia térmica (kWh)	Custo mês (€)	Previsão 2021 (€)
CRM	Aglomeracão	26 k	2,8 k	32 k
	Transformacão	8 k	0,9 k	10 k
	Economia Circular	21 k	2,3 k	26 k
CNM	Aglomeracão CI	9 k	1 k	12 k
	Aglomeracão BL	3 k	0,3 k	4 k
GMT	1ª Trituracão	3 k	0,3 k	4 k
	3ª Trituracão	11 k	1,2 k	14 k
CHC	Prensa	5 k	0,5 k	6 k
CCS	Prensa	4 k	0,4 k	5 k
TOTAL			9,7 k	113 k

2. Melhorar a eficiência de transferência de calor, por exemplo, trocar permutadores;
3. Análises sistemáticas da distribuicão de calor nas estufas, visto se tratar da maioria dos consumidores de energia térmica da fábrica;

4. Procurar garantir apenas um caudal mínimo, indispensável, de circulação através do bypass, por exemplo, furos calibrados.
5. Estuar melhorias para o rendimento das caldeiras. Sabemos que, segundo o manual da ADENE, o rendimento global de uma caldeira é reforçado em cerca de 1% por cada 20°C de arrefecimento dos produtos de combustão;
6. Análises sistemáticas a biomassas alternativas (novas e já identificadas).

O PKS é de facto o combustível alternativo mais viável, como já foi visto anteriormente. No entanto, um dos pilares deste projeto, é a continuação de constante procura de biomassas alternativas mais competitivas no mercado, isto é, para sermos mais eficientes devemos elaborar uma procura sistemática de biomassas alternativas ou melhores características das biomassas identificadas. Melhor custeio calorífico, boa disponibilidade e logicamente um preço competitivo. Para comprovar isto, podemos analisar a tabela 23, onde em um mês de referência em que se gastou cerca de 120 toneladas de combustível alternativo, neste caso, PKS, pagou-se cerca de quinze mil euros em biomassa externa, prevendo ao final do ano cento e setenta e quatro mil euros. Caso a casca de amêndoa, que estudamos anteriormente, tivesse chegado com as especificações previstas, 10% de humidade, o custo destas 120 toneladas seria ao final do mês cerca de cinco mil euros, o que ao final do ano daria aproximadamente cento e vinte mil euros. Isto significa uma redução de 31 % face ao PKS. Concluimos que devemos realizar uma procura sistemática e melhorar na escolha da biomassa alternativa.

Tabela 23 - Análise de biomassas.

TARIFA (€/kWh)					
BIOMASSA	CUSTO (€/ton)	Custeio Calorífico (€/kWh)	PCI (MJ/Kg)	SEMANA	FIM DE SEMANA
PKS	126,00	0,0251	18,09	0,0549	0,1087
CAROÇO A.	130,00	0,0289	16,22	0,0630	0,1138
CASCA A.	126,00	0,0258	17,58	0,0599	0,1101

BIOMASSA	CUSTO (€/ton)	CUSTO MÊS (€)	PREVISÃO 2021 (€)
PKS	126,00	15 k	174 k
CASCA A.	87,00	10 k	120 k

120 ton

CONCLUSÕES

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 CONCLUSÕES

Podemos concluir que uma correta monitorização da energia térmica vai influenciar os custos de cada produto, ou seja, é essencial para a determinação do custo do produto. Através da gestão de energia, com o auxílio do SGE, é também possível detetar, por exemplo, fugas de ar comprimido, ou seja, equipamentos que necessitam de melhorias e manutenções mais regularmente. Este SGE permite também identificar quais os melhores horários para ter certos equipamentos ligados e desligá-los em horas em que a produção não está a necessitar dos mesmos e, portanto, estão a funcionar desnecessariamente.

Cerca de 80% da biomassa queimada na caldeira provém dos desperdícios das máquinas lixadoras e do processo de trituração da cortiça. No entanto, ainda é muito significativa a percentagem de biomassa que é adquirida externamente. Esta biomassa, vai também pesar certamente no custo final do produto. Portanto é importante efetuar uma pesquisa e ter em conta o PCI do material. Quanto maior o PCI, mais cara será a aquisição da biomassa e, portanto, é muito importante uma correta e atenta gestão nesta matéria.

O tarifário desenvolvido é uma mais-valia para a gestão de energia da empresa, pois a partir do momento que o custo da energia térmica ficar alocado aos centros de custo das respetivas unidades industriais, vai obrigar uma gestão mais eficiente por parte dessas unidades, que pensarão mais em certas maneiras de poupar. Além disso, vai também promover manutenções mais frequentes das máquinas.

A primeira grande conclusão deste projeto é que, tendo em conta que 20% da biomassa utilizada na queima é comprada externamente, é possível efetivamente reduzir este valor. Ao fomentar a eficiência operacional e, conseqüentemente, a redução do consumo de energia térmica, vai-se certamente reduzir o consumo de biomassa interna. Ao reduzir este valor vamos poder reduzir a quantidade de biomassa externa comprada. Em suma, ao implementar este tarifário, as áreas vão certamente ter mais atenção ao consumo desta preciosa fonte de energia e vamos poder preservar a biomassa natural, o pó de cortiça.

Relativamente à relação caldeira vs consumidores, concluímos também que quanto mais eficiência conseguirmos criar nas áreas, mais disponibilidade de energia térmica vai existir na rede e nas caldeiras, ou seja, a caldeira trabalhará num regime mais baixo,

com menor consumo de energia, e em caso de necessidade, vai existir energia disponível para acomodar mais equipamentos consumidores de energia térmica. Podemos dizer que quanto mais se poupar, em energia térmica consumida, mais “folga” terá a caldeira, e se esta precisar de aumentar a necessidade de energia dos consumidores de calor, haverá capacidade disponível, ou seja, ao maximizar a disponibilidade de transferência de calor, vamos potenciar o crescimento sustentável.

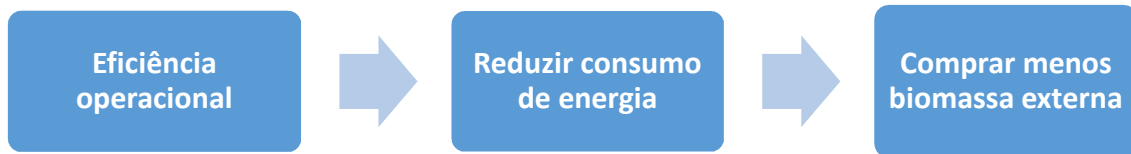


Figura 42 - Conclusão da implementação do tarifário.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

5.1 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] J. D. B. Delgado, P. A. Saraiva, and A. T. de Almeida, “A qualidade da energia eléctrica na actualidade e o uso de novas tecnologias reparadoras,” *Millenium*, 2000.
- [2] C. Pereira and L. Gil, “O Problema do Odor a Mofo nas Rolhas de Cortiça e Processos para a sua Redução/Eliminação,” *Silva Lusit.*, vol. 14, no. 1, pp. 101–111, 2006.
- [3] ACC, “Manual de Acolhimento Energia,” 2019.
- [4] F. Silva, R. Martinho, M. Andrade, A. Baptista, and R. Alexandre, “Improving the wear resistance of moulds for the injection of glass fibre–reinforced plastics using PVD coatings: A comparative study,” *Coatings*, vol. 7, no. 2, p. 28, 2017.
- [5] J. Mourato, L. P. Ferreira, J. C. Sá, F. J. G. Silva, T. Dieguez, and B. Tjahjono, “Improving internal logistics of a bus manufacturing using the lean techniques,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, 2020.
- [6] “O Sistema de Monitorização e Gestão de Energia,” 2020. <http://www.ewen-energy.com/pt/monitor> (accessed Nov. 26, 2020).
- [7] “Manual de Acolhimento.”, 2020.
- [8] “Manual Instalação Caldeiras,” 2018.
- [9] “Proline-Prowirl-F200,” 2020. <https://www.pt.endress.com/pt/produtos/vazão-caudal-medicao-caudalimetro/Proline-Prowirl-F200> (accessed Dec. 05, 2020).
- [10] P. S. Services, “Automação de processos Soluções para medição e controlo em processos industriais Bem-vindo ao Mundo Endress + Hauser,” 2020.
- [11] E. De Gestão and D. E. Acc, “Relatório Avaliação Energética,” 2020.
- [12] “Sistema Gestão Energia E+ Monitor,” 2020. <http://www.ewen-energy.com/pt/monitor> (accessed Jan. 23, 2021).
- [13] *Termofluidos nos sistemas industriais de transmissão de calor*. Shell Portuguesa, 1987.
- [14] X. Nome and A. Tel, “Galp Termoil 32,” pp. 2–12, 2015.
- [15] M. D. Müller, “Produção de madeira para geração de energia eléctrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG,” 2005.
- [16] L. D. Rodrigues, I. T. da SILVA, and B. R. P. da ROCHA, “Uso de briquetes compostos para produção de energia no estado do Pará,” *Proceedings 4th Encontro Energ. no Meio Rural*, 2002.
- [17] S. Peres, A. Schuler, C. H. Almeida, M. B. Soares, R. Campos, and A. Lucena,

“Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia,” 2007.

- [18] “Energias Renováveis e Sustentabilidade - Biomassa,” 2020. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/biomassa/> (accessed Jan. 23, 2021).

ANEXOS

6.1 ANEXO1

6 ANEXOS

6.1 ANEXO1

Teste do pó fino

Reprodução parcial proibida

PARÂMETRO	RESULTADO	INCERT. (4)	UNID.	MÉTODO	OBSERVAÇÕES
Teor de humidade total u_t / Total moisture content u_t	6,5	±0,2	% (m/m)	ISO18134-1:2015	Gravimetria
Teor de humidade numa amostra para análise u_g / Moisture general analysis sample u_g	5,6	±0,8	% (m/m)	ISO18134-3:2015	Gravimetria
Teor de Cinzas u_a / Ash content u_a	1,3	±0,2	% (m/m)	ISO 18122:2015	Gravimetria
Teor de Cinzas u_a / Ash content u_a (1)	--	--	% (m/m)	ISO 16993:2016	Cálculo
Teor de carbono total u_c / Total carbon content u_c	61,4	±3,0	% (m/m)	ISO 16948:2015	AE de CHN
Teor de hidrogénio total u_h / Total hydrogen content u_h	8,0	±0,4	% (m/m)	ISO 16948:2015	AE de CHN
Teor de azoto total u_n / Total nitrogen content u_n	1,9	±0,1	% (m/m)	ISO 16948:2015	AE de CHN
Teor de oxigénio total u_o / Total oxygen content u_o	27,2	±3,1	% (m/m)	ISO 16993:2016	Cálculo
Teor de enxofre total u_s / Total sulphur content u_s	0,07	±0,02	% (m/m)	ISO 16994:2016	Cromat. Iónica
Teor de cloro total u_{cl} / Total chlorine content u_{cl}	0,21	±0,05	% (m/m)	ISO 16994:2016	Cromat. Iónica
Poder calorífico superior, volume constante u_{sc} / Gross calorific value, constant volume u_{sc}	27,23	±0,32	MJ/kg	ISO 18125:2017	calorimetria
Poder calorífico inferior :					
Poder calorífico inferior, pressão constante u_{si} / Net calorific value, constant pressure u_{si}	25,52	±0,34	MJ/kg	ISO 18125:2017	Cálculo
Poder calorífico inferior, pressão constante u_{si} / Net calorific value, constant pressure u_{si}	23,70	±0,33	MJ/kg		
Densidade aparente u_d / Bulk density u_d	--	--	kg/m ³	ISO 17828:2015	Volumetria/gravimetria
Durabilidade mecânica de peletes u_{dm} / Mechanical durability of pellets u_{dm}	--	--	% (m/m)	ISO 17831-1:20	Gravimetria
Teor de finos de peletes u_{ff} / Fines content of pellets u_{ff}	--	--	% (m/m)	ISO 18846:2016	Gravimetria
Comprimento e diâmetro de peletes / Length and diameter of pellets :					
Classe dos peletes / Pellets Class	--	--	mm		
% de peletes na classe / Class % share	--	--	% (m/m)		
% de peletes > 40 mm / w% of pellets longer than 40 mm	--	--	% (m/m)		
Quantidade dos peletes > 40 mm / Number of pellets longer than 40 mm	--	--	unid.	ISO 17829:2015	Análise dimensional
Comprimento médio dos peletes / Mean value of the pellet length	--	--	mm		
Desvio padrão do comprimento / Standard deviation of the length	--	--	mm		
Diâmetro médio dos peletes / Average diameter	--	--	mm		
Desvio padrão do diâmetro / Standard deviation of the diameter	--	--	mm		
Teor de Arsénio u_{ar} / Arsenic content u_{ar} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Chumbo u_{ch} / Lead content u_{ch} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Cádmio u_{ca} / Cadmium content u_{ca} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Crómio u_{cr} / Chromium content u_{cr} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Cobre u_{co} / Copper content u_{co} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Níquel u_{ni} / Nickel content u_{ni} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Zinco u_{zn} / Zinc content u_{zn} (1)	--	--	mg/kg	ISO 16968:2015	EAA de chama