



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Pedro Miguel Martins Ferreira

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NUMA FÁBRICA DE
RECAUCHUTAGEM DE PNEUS**
AUDITORIA ENERGÉTICA E PROPOSTAS DE MELHORIA

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente orientada pelo Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Novembro de 2021

1 2



9 0

FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Eficiência energética numa fábrica de recauchutagem de pneus: auditoria energética e propostas de melhoria

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Energy efficiency in a tire retreading plant: energy audit and improvement proposals

Autor

Pedro Miguel Martins Ferreira

Orientador

Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes

Júri

Presidente Professor Doutor José Manuel Baranda Moreira
da Silva Ribeiro
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor Ricardo António Lopes Mendes
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professor Doutor José Carlos Miranda Góis
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional

sciven

SCIVEN – Desenvolvimento
e Exploração de Sistemas de
Energia Lda

RECHAPAL

RECHAPAL – Sociedade
de Rechapagem e
Recauchutagem de
Alvaiázere S.A.

Coimbra, novembro, 2021

Agradecimentos

A realização desta dissertação contou com o apoio e colaboração de muitas pessoas sem as quais não seria possível, por este motivo agradeço a todos desde já.

Gostaria de começar a agradecer ao meu orientador o Professor Dr. Ricardo Mendes pelo apoio, paciência, confiança e motivação que sempre transmitiu ao longo do trabalho.

Agradeço à SCIVEN que me concedeu a oportunidade de desenvolver este trabalho. Ao Engenheiro Eduardo Costa que se mostrou sempre 100% interessado e disponível.

Além disso, gostaria de agradecer a todos os meus amigos cuja companhia ao longo dos últimos anos foi fundamental para o meu crescimento e sem os quais esta jornada teria sido muito mais tediosa.

Finalmente, gostaria de agradecer aos meus pais e irmão pela confiança, dedicação e compreensão ao longo dos anos.

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo genérico a caracterização energética da empresa RECHAPAL, uma empresa inserida no ramo da recauchutagem de pneus. Determinou-se de forma detalhada quais os tipos de energia utilizada nas instalações e de que forma a mesma é gasta, assim como o valor da produção.

A primeira fase do trabalho consistiu em fazer-se uma análise global dos consumos energéticos a partir das faturas associadas às duas formas de energia utilizadas: energia elétrica e térmica. Conclui-se que a empresa não é uma consumidora intensiva de energia, tendo, portanto, consumos inferiores a 500 tep, valor que a legislação portuguesa utiliza como referência. A realização da análise energética permite ter noção em quais áreas o potencial de economia será maior e como tal de que forma se deve atuar. Tendo sido calculados, com a informação disponível, os valores dos indicadores energéticos.

Seguidamente, após o reconhecimento das instalações, descreve-se os principais sistemas consumidores de energia das instalações, sendo estes o sistema de produção de ar comprimido e vapor. Contabilizando-se as perdas energéticas que ocorrem nestes e o valor que estas representam. Para isto foi feito um estudo detalhado à caldeira, obtendo-se assim o seu rendimento.

Por fim, com base nas várias análises feitas, são definidas algumas propostas de medidas para serem implementadas que visam a redução dos consumos energéticos e aumento da eficiência energética. Reduzindo-se assim os consumos anuais de energia primária e por consequência reduz-se também os custos associados à sua utilização e a emissão de gases com efeito de estufa.

Palavras-chave: Auditoria Energética, Combustível, Eficiência Energética, Indicadores Energéticos, Perdas energéticas.

Abstract

The general objective of this dissertation is to do the characterization of the company Rechapal, a company inserted in the tire retreading field. The types of energy used in the facilities and how it is used were determined in detail, as well as the value of production.

The first phase consisted on carrying out a global analysis of energy consumption from the bills associated with the two forms of energy used: electrical and thermal energy. It was been concluded that the company is not an intensive energy consumer, and therefore consumes less than 500 tep, a value that Portuguese legislation uses as a reference.

Carrying out the energy analysis allows us to have an idea in which areas the potential for savings will be greater and, as such, how to act. With the available information, the values of the energy indicators have been calculated.

Afterwards, after the recognition of the installations, the main energy consuming systems of the installations are described, which are compressed air and steam production system. Accounting for the energy losses that occur in these and the value they represent. For this, a detailed study of the boiler was carried out, thus obtaining its efficiency.

Finally, based on the various analyzes carried out, some proposals for measures are defined to be implemented, aimed at reducing energy consumption. Thus, reducing the annual consumption of primary energy and consequently reducing the costs associated with its use and the emission of greenhouse gases.

Keywords Energy Audit, Fuel, Energy Efficiency, Energy losses, Energy Indicators.

Índice

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas.....	xii
Simbologia e Siglas	xiv
Simbologia	xiv
Siglas	xv
1. Introdução.....	1
1.1. Motivações e objetivos	1
1.2. Estrutura da dissertação	2
1.3. Descrição da empresa Rechapal	3
1.3.1. Processo produtivo da Rechapal	3
2. Transformação de energia e Auditoria energética.....	7
2.1. Transformação de energia	7
2.2. Auditoria energética	8
2.2.1. O que é uma auditoria energética	8
2.2.2. Objetivos de uma auditoria energética	9
2.2.3. Etapas de uma auditoria energética	10
3. Análise energética global	13
3.1. Consumos energéticos	13
3.1.1. Consumo de eletricidade	14
3.1.2. Consumo de eletricidade	15
3.2. Dados da produção e do valor de vendas	16
3.3. Consumos de energia primária	17
3.3.1. Representação dos resultados obtidos	19
3.3.2. Relação entre consumos energéticos e produção	21
3.4. Indicadores energéticos	22
3.4.1. Consumo específico de energia.....	24
3.4.2. Intensidade energética e relação entre o custo de energia e vendas.....	26
3.4.3. Resumo dos indicadores energéticos atuais	26
3.5. <i>Benchmarking</i>	27
4. Caracterização dos Principais consumidores de energia.....	31
4.1. Sistema de produção e distribuição de vapor	31
4.1.1. Caracterização energética da caldeira	34
4.2. Sistema de produção de ar comprimido	44
5. Perdas no sistema de distribuição vapor.....	47
5.1. Perdas na linha de distribuição de vapor	47
5.2. Perdas através do depósito de recolha de condensados.....	50
5.3. Perdas através das válvulas e flanges da zona dos coletores	52
6. Medidas para aumento de eficiência energética.....	54

6.1. Medidas a aplicar na caldeira.....	54
6.1.1. Aplicação de um economizador	54
6.1.2. Regular o excesso de ar	56
6.1.3. Aplicando simultaneamente as medidas propostas em 6.1.1. e 6.1.2.....	58
6.2. Medidas a aplicar na linha de distribuição de vapor.....	59
6.2.1. Implementar isolamento na linha de distribuição de vapor.....	59
6.2.2. Implementar isolamento ao depósito atmosférico	60
6.2.3. Implementar isolamento amovível as válvulas e flanges dos coletores de vapor	62
6.3. Reparação das fugas na rede de ar comprimido	64
6.4. Outras medidas	66
6.4.1. Proceder a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED	66
6.4.2. Implementação de isolamento a porta da calceira	68
6.4.3. Implementar isolamento amovível nas prensas de vulcanização (Caso ilustrativo).....	70
6.5. Resumo dos resultados.....	72
7. Conclusão	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE A – Fluxos de energia da instalação	78
APÊNDICE B – Dados de consumo de energia da empresa (208,2019 e 2020)	80
APÊNDICE C – Período horário na faturação de energia elétrica em Portugal continental	84
APÊNDICE D – Dados de produção e valor das vendas (2018,2019 e 2020).....	86
APÊNDICE E – DADOS BENCHMARKING.....	88
APÊNDICE F – Fluxograma do sistema de produção e distribuição de vapor.....	90
APÊNDICE G – Fotografias obtidas pela câmara termográfica	92
APÊNDICE H – Procedimento experimental para determinação do poder calorífico.....	94
APÊNDICE I – Cálculo da composição molar do combustível utilizado na caldeira	97
APÊNDICE J – Cálculo da quantidade de excesso de ar inicial	99
APÊNDICE K – Cálculo energia libertada na caldeira (situação atual)	103
APÊNDICE L – Cálculo do rendimento da caldeira para as situações apresentadas em 6.1.	107
APÊNDICE M – Esquema das duas centrais de ar comprimido.....	109
ANEXO A - Despacho n.º 17313/2008.....	111
ANEXO B - Relatório da análise elementar.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 - Localização geográfica da empresa <i>Rechapal</i>	3
Figura 1-2 - Processo produtivo da empresa <i>Rechapal</i>	4
Figura 2-1 - Transformação de energia e utilização final, adaptado de [1]	8
Figura 2-2 - As 4 fases de uma auditoria energética	10
Figura 2-3 - Câmara termográfica Flir E6 (FONTE: [4])	11
Figura 2-4 - Analisador de gases <i>Testo 310</i> (FONTE: [3]).....	11
Figura 3-1 – Energia elétrica faturada mensalmente nos anos 2018, 2019 e 2020	14
Figura 3-2 - Fuelóleo faturado mensalmente nos anos de 2019, 2019 e 2020.....	15
Figura 3-3 – Valores mensais do número de pneus produzidos nos anos de 2018, 2019 e 2020.....	16
Figura 3-4 – Valores mensais de vendas referentes aos anos de 2018, 2019 e 2020.....	17
Figura 3-5 - Representação do consumo anual de energia em percentagem.....	19
Figura 3-6 - Representação do custo anual da energia em percentagem	20
Figura 3-7 - Valores de produção e de consumo de energia primária para o ano de 2018 .	21
Figura 3-8 - Valores de produção e de consumo de energia primária para ano de 2019	21
Figura 3-9 - Valores de produção e de consumo de energia primária para o ano de 2020 .	21
Figura 3-10 - Relação entre o consumo mensal de eletricidade e a produção (2018,2019 e 2020)	22
Figura 3-11 - Relação entre o consumo mensal de fuelóleo e a produção (2018,2019 e 2020)	22
Figura 3-12 - Relação entre o consumo mensal de energia primária e a produção (2018,2019 e 2020)	23
Figura 3-13 - Relação entre o consumo específico de energia e a produção	25
Figura 3-14 - Relação entre custo de energia e vendas [%] vs produção.....	26
Figura 4-1- Imagem termografica da lateral da caldeira	32
Figura 4-2 – Fotografia da caldeira utilizada nas instalações	33
Figura 4-3 Termómetro redondo situado na saída dos gases de combustão da caldeira.....	38
Figura 4-4 - Zona ótima de excesso de ar (FONTE:[10])	39
Figura 4-5 Perdas por radiação, convecção e outras não contabilizadas de acordo com a potencia nominal da caldeira (FONTE: [11])	42

Figura 4-6 Diagrama de <i>Sankey</i> – Caldeira para o ano de 2020.....	43
Figura 5-1 - Tubos de distribuição da linha de 6 bar e 8 bar, respetivamente (câmara termográfica)	47
Figura 6-1 - Caldeira com um economizador (FONTE:[13]).....	54
Figura 6-2 - Válvulas industriais com isolamento do tipo "camisa" aplicado (FONTE:[16])	62
Figura 6-3 - Potência elétrica instantânea medida no compressor n.º 1	64
Figura 6-4 – Energia consumida durante o ensaio pelo compressor nº1, em intervalos de 1 hora.....	65
Figura 6-5 – Exemplo de isolamento aplicado nas portas de uma caldeira [Fonte: [14]] ...	68
Figura 6-6 – Prensa de vulcanização	70
Figura G.0-1 – Fotografia térmica da caldeira (lateral).....	92
Figura G.0-2 - Fotografia térmica da caldeira (frontal).....	92
Figura G.0-3 – Fotografia térmica bomba + linha de água que entra na caldeira	92
Figura G.0-4 – Fotografia térmica do coletor de vapor 1	93
Figura G.0-5 - – Fotografia térmica válvula redutora de pressão.....	93
Figura G.0-6 - – Fotografia térmica do coletor de vapor 2.....	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 - Fatores de conversão em energia primária equivalente e emissões de GEE das energias utilizadas	18
Tabela 3-2 - Energia primária equivalente e custos das energias envolvidas no ano de 2018,2019 e 2020	19
Tabela 3-3 - Resumo dos custos energéticos	20
Tabela 3-4 Resumo dos indicadores energéticos	27
Tabela 3-5 - Informações das empresas selecionadas para o <i>benchmarking</i>	28
Tabela 4-1 - Características da caldeira de vapor e do respetivo queimador.	32
Tabela 4-2 - Percentagens mássica dos diferentes constituintes do combustível.	35
Tabela 4-3 - Resultados dos 4 ensaios para determinação o poder calorífico realizados ao fuelóleo.....	36
Tabela 4-4 - Custo energético do fuelóleo.	36
Tabela 4-5 - Média dos resultados obtidos para as características dos gases de combustão.	38
Tabela 4-6 - Número de moles existentes em 1 kg de combustível.....	40
Tabela 4-7 Distribuição energética por hora de funcionamento na caldeia	43
Tabela 4-8 - Características dos compressores utilizados.....	45
Tabela 4-9 – Características dos reservatórios de ar comprimido utilizados.....	45
Tabela 5-1 - Perdas energéticas através da superfície dos tubos de distribuição de vapor por metro	49
Tabela 5-2 - Cálculo do custo das perdas de energia através da linha de distribuição	49
Tabela 5-3 - Características do depósito de recolha de condensados	50
Tabela 5-4 - Perdas de calor pela superfície cilíndrica do depósito.....	50
Tabela 5-5 - Perdas de calor pelo topo do depósito	51
Tabela 5-6 - Cálculo do custo das perdas de energia através o depósito de recolha de condensados	51
Tabela 5-7 - Válvulas de bloqueio e flanges não isoladas de acordo com o diâmetro da tubagem onde estão inseridas.....	52
Tabela 5-8 - Cálculo do custo das perdas de energia através das válvulas e flanges da zona dos coletores.....	53
Tabela 6-1 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação do economizador	55

Tabela 6-2 - Composição óptima dos gases de combustão, para diferentes combustíveis (FONTE:[11]).....	56
Tabela 6-3 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da afinação do excesso de ar	57
Tabela 6-4 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação das medidas 6.1.1. e 6.1.2.	58
Tabela 6-5 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamentos as linhas de distribuição de vapor.....	60
Tabela 6-6 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação do isolamento dodepósito de recolha de condensados.....	61
Tabela 6-7 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamentos das válvulas de flages na zona dos coletores.....	63
Tabela 6-8 – Estimativa do custo anual das fugas de ar comprimido, da linha 1 e 2.....	65
Tabela 6-9 – Poupanças obtidas através a redução em 50% das fugas de ar	66
Tabela 6-10 - Caracterização da iluminação existente e proposta.....	67
Tabela 6-11 - Economias previstas com a substituição da iluminação	67
Tabela 6-12 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamentos nas portas da caldeira	69
Tabela 6-13 - Cálculo ilustrativo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamento numa prensa com diâmetro de 1m e uma altura de 0.5m	70
Tabela 6-14 – Totalidade das medidas estudadas para aumentar a eficiência energética da instalação	72
Tabela 6-15 – Redução previstas nos indicadores energéticos após a implementação das medidas de aumento de eficiência energética	73
Tabela B.0-1 - Consumo de energia elétrica referente aos anos de 2018, 2019 e 2020.....	80
Tabela B.0-2 - Consumo de fuel referente a 2018.....	81
Tabela B.0-3 - Consumo de fuel referente a 2019.....	82
Tabela B.0-4 - Consumo de fuel referente a 2020.....	82
Tabela C.0-1 - Ciclo semanal opcional para MAT, AT e MT em Portugal continental	84
Tabela D.0-1 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2018.....	86
Tabela D.0-2 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2019.....	86
Tabela D.0-3 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2020.....	87
Tabela E.0-1 - Dados das empresas selecionadas para fazer o benchmarking.....	88
Tabela L.0-1 – Folha de <i>Excel</i> relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.1.....	107
Tabela L.0-2 - Folha de <i>Excel</i> relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.2.	107
Tabela L.0-3 - Folha de <i>Excel</i> relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.1. + 6.1.2.....	108

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

A – Área	[m ²]
b – Parcela da energia dependente da produção	[tep/unid.]
E – Energia consumida	[tep]
E_0 – Parcela de energia independente da produção	[tep]
EP – somatório de todas as outras perdas	[%]
f – Fator de emissão	[tCO ₂ e/tep]
h – Coeficiente de transferência de calor por convecção	[W/m ² ·K]
$\Delta h_{f,298K}^{\circ}$ – Entalpia de formação, a 298 Kelvin	[kJ/kg]
$h_{T_{in}}$ – Entalpia relativa, à temperatura de entrada	[kJ/kg]
$h_{T_{out}}$ – Entalpia relativa, à temperatura de saída	[kJ/kg]
$h_{T_{ref}}$ – Entalpia de relativa no estado de referência	[kJ/kg]
m – Massa	[kg]
N_j – Número de moles de cada j elemento	[kmol]
p – Produção mensal	[unid.]
$P_{chaminé}$ – Perdas pela chaminé	[%]
P_p – Perda por purga na caldeira	[%]
$\dot{Q}'_{convecção}$ – Potência térmica convectiva, por metro	[W/m]
$\dot{Q}'_{radiação}$ – Potência térmica radiativa, por metro	[W/m]
\dot{Q}'_{total} – Transferência de calor, por metro	[W/m]
\dot{Q} – Potência térmica	[W]
Q – Energia sobre a forma de calor	[MJ/kg]
T – Temperatura	[K]
ΔT – Diferença de temperaturas	[K]
T_p – Temperatura da purga	[K]

T_{H2O} – Temperatura da água de alimentação da caldeira	[K]
ε – Emissividade	
σ – Constante de Stefan Boltzmann	[W/m ² ·K ⁴]
% p = percentagem da água de purga em relação ao total da água de alimentação da caldeira	[%]

Siglas

CEE – Consumo Específico de Energia

CIEPQPF – Centro de Investigação em Engenharia dos Processos Químicos e dos Produtos da Floresta

FE – Fator de Emissão

GEE – Gases com Efeito de Estufa

DGEG – Direção-Geral de Energia e Geologia

IAC – *Industrial Assessment Centers*

IC – Intensidade Carbónica

kgep – kilograma equivalente de petróleo

PCI – Poder Calorífico Inferior

ppm – Partes por milhão

PREN – Plano de Racionalização do Consumo Energético

RGCE – Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

tep – Tonelada equivalente de petróleo

t – Tonelada

unid. – unidade

VAB – Valor Acrescentado Bruto

1. INTRODUÇÃO

1.1. Motivações e objetivos

Nos dias de hoje a energia assume um papel cada vez mais fundamental no desenvolvimento das nações, sendo essa energia o motor que alimenta o seu progresso. Porém, o seu uso irrefletido está a levar a uma progressiva destruição do meio ambiente, degradando a qualidade de vida do Homem e de todos os seres vivos, podendo em última instância levar a sua extinção. Por esta razão, cada vez mais se deve ter atenção para a utilização de forma eficiente da energia.

Contudo esta utilização eficiente traz poupanças, não só em termos energéticos, mas também financeiros, ajudando ainda no desenvolvimento económico de um país.

Em Portugal, as empresas têm vindo a desempenhar um papel cada vez mais significativo, neste contexto, tentando implementar medidas que assegurem a racionalização e promovam a eficiência energética, diminuindo assim o consumo de energia¹. Estas medidas incluem a eficiência, a utilização e a manutenção dos equipamentos, que posteriormente assegurará o seu bom desempenho energético, sem colocar em causa a qualidade da produção, levando a uma diminuição dos custos associados.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Coimbra e foi baseado no estágio curricular realizado na empresa SCIVEN, Desenvolvimento e Exploração de Sistemas de Energia Lda.

O trabalho enquadrou-se num dos projetos em mãos da SCIVEN, este consistia em fazer a análise energética numa empresa da indústria da recauchutagem de pneus. Sendo necessário fazer uma análise aos maiores consumidores energéticos da empresa, indicando

¹ Neste documento é adotado, de forma recorrente, o uso da terminologia “consumos de energia”, isto para estar coerente com o apresentado na legislação portuguesa e para facilitar a compressão por parte do leitor. Contudo, esta está errada. À luz da 1ª Lei da Termodinâmica a designação mais correta seria “transformação de energia”.

onde estão as maiores ineficiências, dando-lhe também propostas, que visavam a sua melhoria.

O presente trabalho consistiu num levantamento das condições de utilização de energia da empresa de recauchutagem Rechapal. Com esse trabalho foi possível determinar o seu consumo de energia que, conjugado com dados da produção, permitiu determinar os vários indicadores energéticos. Após essa análise foi possível identificar onde existiam perdas de energia quer por má utilização, regulação ou controlo dos equipamentos. Por fim, foram propostas alterações com vista à redução do consumo de energia.

1.2. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos, incluindo o capítulo introdutório.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a transformação de energia assim como o conceito e a metodologia geral de uma auditoria energética. Este capítulo aborda aspetos mais teóricos com o objetivo de dar algum conhecimento base ao leitor, para que assim, este entenda o trabalho realizado posteriormente.

No terceiro capítulo contabilizam-se os consumos de energia, os seus custos e apresentam-se os dados da produção, são calculados os indicadores de eficiência energética associados à empresa e, por último, e realizado um benchmarking, comparando-a assim com outras do mesmo setor.

No capítulo 4 é feita a descrição dos sistemas de produção e distribuição de vapor e de produção de ar comprimido dado que são estes os responsáveis por consumir a grande maioria da energia utilizada nas instalações. É ainda calculado o rendimento da caldeira, que é apresentado no sétimo capítulo.

No capítulo 5 são calculadas algumas perdas que ocorrem na instalação, tanto de um ponto de vista energético como monetárias. Posteriormente, no sexto capítulo, são propostas medidas para redução dos consumos de energia.

Por fim, no sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões retiradas do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

1.3. Descrição da empresa Rechapal

A Rechapal dedica-se à recauchutagem de pneus que reúnem as condições técnicas exigidas para tal. Deste modo a Rechapal contribui para a redução da quantidade de pneus usados que integram o fluxo de resíduos através da sua reintrodução no seu ciclo de vida original, preservando deste modo recursos naturais. A Rechapal está incluída no setor de atividade “Indústria de borracha e de matérias plásticas”, com o seguinte CAE/Designação: 22112 – Reconstrução de pneus. Produzem todos os tipos de pneus, desde os de menor tamanho como, por exemplo, os de motocultivadores, até aos de grandes máquinas agrícolas e industriais, passando, claro, pelos de automóvel.



Figura 1-1 - Localização geográfica da empresa *Rechapal*

A empresa está situada na vila de Alvaiázere, distrito de Leiria, sendo um dos maiores empregadores do concelho. O período laboral normal decorre entre as 08:00h e as 18:00h, sem qualquer paragem neste período, nos dias úteis semanais. A empresa labora, em média, 2350 horas por ano.

1.3.1. Processo produtivo da Rechapal

Os equipamentos encontrados no local onde se vai executar a auditoria vão estar muito dependentes do tipo de instalação auditada. Existe, portanto, logo à partida um desafio enorme de aprendizagem sobre o funcionamento dos equipamentos utilizados no processo produtivo em questão.

Na empresa Rechapal o processo produtivo é dividido em 7 fases: limpeza, inspeção inicial, raspagem, reparação e preparação, aplicação do piso, vulcanização e por fim a inspeção final. Na Figura 1-2 é representado a seqüência de processos realizados na empresa desde que o pneu usado chega à fábrica, até ao produto final, o pneu recauchutado, pronto para retornar a estrada.

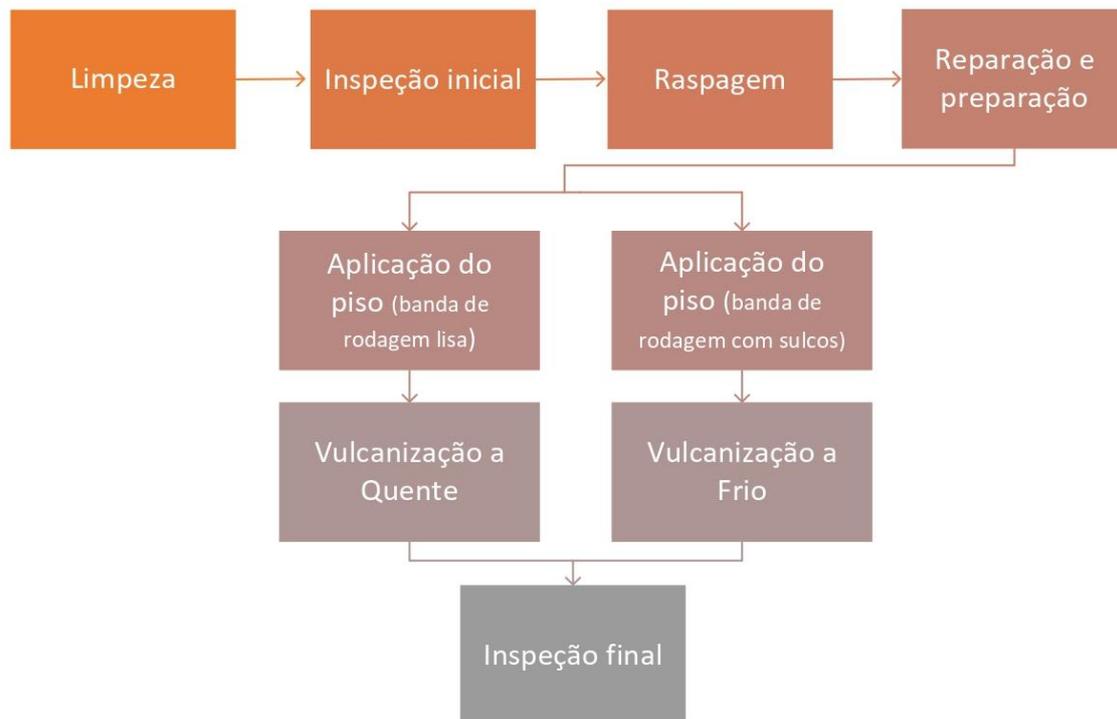


Figura 1-2 - Processo produtivo da empresa Rechapal

Limpeza

Após serem recebidos, os pneus são limpos e secos de modo a retirar quaisquer impurezas que possam colocar em causa as etapas seguintes. Nesta limpeza é utilizado um jato de ar ou uma escova, sendo esta última utilizada principalmente para as partes laterais, garantindo-se assim que todas as partículas contaminantes são eliminadas.

Inspeção inicial

Com o pneu devidamente limpo, realiza-se a primeira inspeção. Nesse momento, averiguam-se as várias características do pneu, tais como: a espessura, a quantidade de borracha, a relação de altura/ largura, o estado da banda de rodagem e das partes internas. Após esta inspeção rigorosa só avançam para a etapa seguinte aqueles pneus que apresentam

as condições necessárias para serem recauchutados. Os que não apresentam tais condições são excluídos da linha de produção.

Raspagem

Esta etapa consiste na raspagem da borracha superficial do pneu, removendo assim o piso remanescente. Esta operação é feita para definir a geometria do pneu, e a preparar a textura da superfície, configurando assim, a carcaça no diâmetro e no contorno e conferindo a textura adequada à aplicação do novo piso. Tudo isto é realizado de acordo com especificações de cada tipo de pneu, para assim se garantir a máxima qualidade e segurança.

Reparação e preparação

Durante a sua vida o pneu este pode ter sofrido danos mais profundos na sua estrutura, sendo este tipo de problemas resolvidos nesta fase, preparando-o então para aplicação do novo piso.

Aplicação do piso (banda de rodagem)

A partir deste ponto o processo produtivo divide-se em dois: a recauchutagem a frio (aqui a vulcanização é realizada num autoclave) e a recauchutagem a quente, o método mais tradicional. Neste último caso, a vulcanização é realizada numa prensa, a temperaturas mais elevadas, comparativamente com a recauchutagem a frio.

Começa-se por aplicar uma cola na superfície do pneu deixando-a com a aderência ideal para a aplicação do piso. Esta cola é responsável por unir o novo piso com a estrutura do pneu. Posteriormente é aplicado o piso diretamente sobre a superfície deste, sendo escolhido de acordo com as dimensões e características pneu. A banda de rodagem aplicada pode ter já os sulcos, no caso de este seguir para a vulcanização a frio, ou ser completamente lisa, sendo que neste caso a banda apenas vai ganhar os sulcos e desenhos na etapa seguinte. A banda deve estar bem centralizada, para isto é necessária grande precisão é por isso necessário ter um cuidado redobrado nesta fase. Depois de aplicada a banda é aplicada pressão com um rolo no pneu para, assim, se retirar o ar, que possa existir entre o pneu e o novo piso.

Vulcanização

A adesão definitiva entre a banda de rodagem e a carcaça do pneu é conseguida através da vulcanização.

No processo a quente, esta é feita numa prensa, onde se submete o pneu as condições de pressão e temperatura necessárias para que este processo aconteça. As temperaturas atingidas neste aqui rondam os 159° C, já o tempo necessário varia dependendo do tamanho e tipo do pneu. Como já referido, é dentro da prensa que os sulcos e desenhos são formados, existindo um molde na prensa para este efeito. Este pode ser trocado mediante o tipo as características finais pretendidas.

Já no processo a frio, o pneu é colocado num “envelope” de borracha e levado para um autoclave, neste o pneu é sujeito a valores de pressão e temperatura que possibilitam a união da banda de rodagem com o pneu. As temperaturas atingidas neste processo rondam os 115 ° C.

Inspeção final

Após terminado a vulcanização, o pneu passa por mais um processo de inspeção, este garante a integridade, qualidade e a segurança do produto final. Os pneus que são aprovados nesta última inspeção, estão pronto para deixar a fábrica.

2. TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA E AUDITORIA ENERGÉTICA

2.1. Transformação de energia

A Energia está presente em todas as atividades realizadas por nós, desde as mais simples tarefas, até aos processos industriais mais complexos. A forma mais primitiva de energia, designa-se por energia primária, e está associada à energia existente nos recursos naturais. Exemplo disso é a energia solar, biomassa, combustíveis fósseis etc. Estas são as verdadeiras fontes de energia que alimentam qualquer atividade realizada por nós.

Contudo, muitas vezes, sujeitam-se as formas de energia primária a alguns processos de transformação, de forma a que estas sejam mais comodamente utilizadas. A estas novas formas de energia chama-se energia secundária. São exemplos dessas formas de energia os combustíveis refinados, a energia elétrica, entre outros. Quando a energia chega ao consumidor final, tendo para isso passado por vários processos de transformação (ou não), chama-se de energia final. Trata-se, portanto, esta do estado comercial da energia.

Até a energia primária ser consumida sob a forma de energia final, esta passa por várias etapas, onde ocorrem inevitáveis perdas ou desperdícios. Estes advêm de vários fatores, como, por exemplo, descuidos por parte dos utilizadores, ineficiência dos processos, transporte ou ainda as limitações impostas pela Segunda Lei da termodinâmica, entre outros. Então, para se fazer face às alterações climáticas não basta apenas transitar para a utilização exclusiva de fontes de energia renovável. Devemos também procurar diminuir ao máximo estas perdas e assim reduzir o consumo de energia primária, numa perspetiva de reduzir o consumo geral energia. Isto traz vantagens, não só do ponto de vista ambiental, como também do ponto de vista económico.

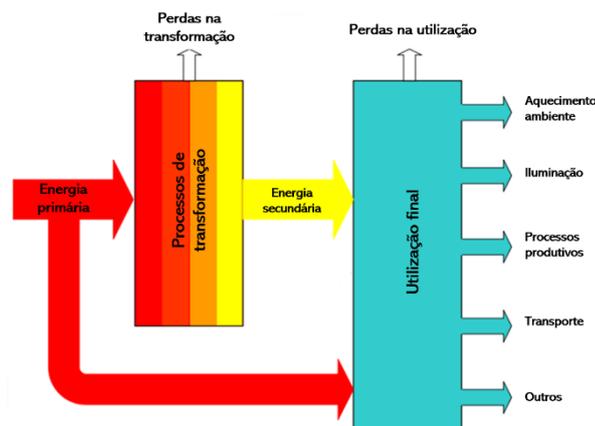


Figura 2-1 - Transformação de energia e utilização final, adaptado de [1]

2.2. Auditoria energética

Existem diversos tipos de auditorias energéticas, desde auditorias a edifícios, auditorias a frotas de transporte e auditorias industriais. A auditoria energética industrial é regida pelo SGCIE (Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia). No âmbito da Estratégia Nacional para a Energia, foi publicado o Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, que regulamenta o SGCIE. Este Sistema aplica-se às instalações consumidoras intensivas de energia (CIE) com consumos superiores a 500 tep/ano, resultando da revisão do RGCE (Regulamento de Gestão dos Consumos de Energia) [2].

O SGCIE prevê que as instalações CIE realizem, periodicamente, auditorias energéticas que recaiam sobre as condições de utilização de energia, promovendo o aumento da eficiência energética, tentando incluir sempre a utilização de fontes de energia renováveis. Prevê, também, que se elaborem e executem Planos de Racionalização dos Consumos de Energia (PREn), tendo estes objetivos mínimos de eficiência energética [2]. Associado ao cumprimento destes objetivos estão isenções no imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos em alguns combustíveis. No entanto, de referir ainda que instalações que tenham consumos energéticos inferiores a 500 tep/ano podem aplicar o SGCIE e celebrar Acordos de Racionalização do Consumo de Energia com a DGEG, de forma voluntária, beneficiando assim também das isenções.

2.2.1. O que é uma auditoria energética

Uma auditoria energética pode ser definida simplesmente como um processo cujo objetivo é avaliar como um edifício ou uma unidade industrial utiliza as diferentes

formas de energia, identificando oportunidades e o potencial de redução de consumo. Ou seja, a auditoria caracteriza energeticamente a unidade industrial, detetando o potencial de economia de energia, propõe medidas fundamentadas para alcançar estas poupanças, para além de identificar qual a rentabilidade económica de cada uma destas medidas [3]. Estas medidas vão ser integradas num plano estratégico de intervenção que definirá claramente a calendarização e os objetivos anuais a alcançar, no que respeita à redução dos consumos energéticos.

O plano é chamado Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn). As metas que ele estabelece no que diz respeito ao consumo de energia são dadas em termos de intensidade energética, intensidade carbónica e consumo específico.

- **Intensidade Energética (tep/€)**, quociente entre o consumo total de energia primária e o Valor Acrescentado Bruto (VAB) das atividades empresariais diretamente ligadas a essas instalações industriais;

- **Consumo Específico de Energia**, quociente entre o consumo total de energia primária e o volume de produção. A unidade mais comumente usada é **tep/unidade produzida**;

- **Intensidade Carbónica (kg CO₂/tep)**, quociente entre o valor das emissões de gases de efeito de estufa, resultantes da utilização das várias formas de energia no processo produtivo e o consumo total de energia respetivo;

Resumindo, o principal objetivo de uma auditoria energética é procurar uma maior rentabilidade da energia. Para isso a auditoria propõe uma estratégia de gestão que reduz o consumo mantendo, ou até mesmo elevando, os níveis de produção da indústria.

2.2.2. Objetivos de uma auditoria energética

Os objetivos gerais de uma auditoria são:

- Especificar as formas de energia utilizada;
- Examinar de que maneira a energia é utilizada e os respetivos custos;
- Estabelecer a estrutura do consumo de energia;
- Relacionar o consumo de energia com a produção;
- Identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos;
- Analisar técnica e economicamente as soluções encontradas;

- Propor um plano de racionalização para as ações e investimentos a empreender;
- Propor um esquema operacional de gestão de energia na empresa;
- Propor a substituição de equipamentos ligados ao processo, por outros mais eficientes;
- Propor a alteração de fontes de energia, caso se considere necessário;

Realizando estes objetivos, obtém-se um melhor desempenho energético das instalações industriais, uma redução das emissões de CO₂ e uma redução da fatura energética.

2.2.3. Etapas de uma auditoria energética

Para a execução de uma auditoria energética é de extrema importância delinear a sequência de ações que possibilitem obter um conhecimento profundo do sistema energético da unidade industrial, para assim detetar e quantificar as perdas e ineficiências existentes e, posteriormente, tentar corrigi-las. Na figura 2.2 estão definidas as fases que devem ser seguidas numa auditoria energética. São quatro as fases de atuação: a primeira está relacionada com aspetos de preparação da auditoria e as restantes referem-se à recolha de informação, ao seu tratamento e à apresentação de todos os elementos num relatório



Figura 2-2 - As 4 fases de uma auditoria energética

Planificação e preparação da intervenção

Nesta fase é realizada uma visita prévia às instalações, são definidos os objetivos da auditoria, é selecionada a equipa auditora. Poderá ser realizado um género de questionário à empresa para obter algumas informações úteis. Deve-se ainda fazer uma recolha dos dados históricos da empresa (faturas energéticas), um estudo e uma análise do processo produtivo das instalações, um levantamento das tecnologias utilizadas nesse processo e das tecnologias energéticas disponíveis no mercado. Também se deve verificar a existência ou não de pontos de medição nas instalações.

Nesta etapa é aconselhável estudar-se, o mais detalhadamente possível, o processo produtivo implementado na instalação a auditar. Muitas vezes o auditor não está

familiarizado com os processos e equipamentos utilizados em certas indústrias. Assim, este estudo preliminar possibilitará ao auditor adquirir os conhecimentos mínimos que lhe permitem interligar os fluxogramas de processo e os fluxogramas energéticos, com objetivo de encontrar potenciais economias de energia numa eventual reorganização do processo produtivo. Nesta visita prévia, de forma a facilitar a aquisição destes conhecimentos, o auditor deverá ser acompanhado por um técnico especialista pelo processo de produção da instalação.

Trabalho de campo

Após realizada a fase anterior, a equipa de trabalho inicia o trabalho de campo. Como primeira etapa, devem ser corrigidas eventuais imprecisões ou erros nos dados que foram obtidos na recolha de informação e ainda deverá ser completado o questionário realizado à empresa, caso este não tenha sido concluído na primeira fase.

São medidos os consumos de energia das instalações e devem ser feitos balanços de energia e de massa a determinados equipamentos. Devem ainda ser recolhidos dados referentes à produção de forma a poder calcular o consumo específico da instalação no seu geral. Sempre que possível devem-se realizar estas medições em cada setor das instalações de forma a obter-se o consumo específico e outros indicadores energéticos, por setor.

Na eventualidade de não existir um programa de monitorização da energia nas instalações, deve alertar-se para a importância destes sugerindo equipamentos que realizem essa função. Para se efetuar a caracterização em termos de energia e eficiência das instalações como um todo recorre-se a determinados aparelhos de medição. Alguns exemplos desses aparelhos utilizados na realização de uma auditoria energética são: analisador de gases de combustão, câmaras termográficas, amperímetros registadores, wattímetros, medidores de ponta, medidores do fator de potência, fluxímetros, registadores de diagramas de carga, entre outros.



**Figura 2-4 - Analisador de gases
Testo 310 (FONTE: [3])**



**Figura 2-3 - Câmara termográfica Flir E6
(FONTE: [4])**

Tratamento de dados

Terminado o planeamento e o trabalho de campo, ir-se-á tratar toda a informação recolhida. Nesta fase são realizados os vários cálculos necessários, para se obter o consumo final global de energia da instalação e nos casos em que é possível, o consumo por setor e por equipamento significativos. São ainda obtidos os rendimentos energéticos dos principais equipamentos produtores e consumidores de energia e os consumos específicos nas diversas formas referidas anteriormente. Como estes valores consegue-se fazer uma proposta estruturada das possíveis soluções a implementar para corrigir situações de má utilização de energia e das diversas soluções tecnológicas que visem o aumento da eficiência energética. Nesta proposta deveram estar quantificadas as potenciais economias de energia de todas as soluções apresentadas assim como as respetivas análises económicas.

Elaboração do relatório final

A auditoria energética é concluída com a elaboração de um relatório, onde constam todos os passos seguidos para a realização desta, assim como as principais conclusões retiradas. De uma forma geral o relatório deve conter o enquadramento e os vários objetivos da auditoria, identificação da instalação, contabilidade energética, análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia. Por fim, devem ser propostas soluções que permitam a redução do consumo de energia, sem reduzir a produção. No que diz respeito à aplicação de medidas para reduzir o consumo de energia, existem medidas específicas que dependem do tipo de indústria que se audita. Contudo, existem medidas transversais que se podem usar em qualquer indústria. A aplicação destas medidas transversais está relacionada com os sistemas de produção e distribuição de ar comprimido, a produção de energia térmica, sistemas acionados por motores elétricos, iluminação, sistemas de distribuição de energia elétrica e o recurso a fontes renováveis.

3. ANÁLISE ENERGÉTICA GLOBAL

Neste capítulo é realizada uma análise energética global à instalação industrial da Rechapal. Esta análise permite fazer um levantamento geral dos diferentes tipos de energia consumida e fornece ainda uma orientação de quais os procedimentos a adotar na realização da auditoria.

Primeiramente tem-se de saber quais os consumos e custos energéticos existentes. Isto é conseguido a partir da análise das faturas apresentadas pelos fornecedores de energia. Foram requeridas à empresa todas as faturas de energia referentes a todas as formas de energia consumidas pela empresa nos últimos 3 anos. Para além disto, faz-se um levantamento da produção mensal ao longo desses três anos. Optou-se por fazer uma análise aos últimos 3 anos, pois considerou-se que o ano de 2020 foi um ano bastante atípico, devido à pandemia de covid-19. Na verdade, durante esse ano a empresa teve de parar totalmente produção durante algumas semanas. Para além disto, mesmo depois de voltar a atividade, o número de encomendas teve uma grande diminuição. Logo, os valores referentes a esse ano não representam com fidelidade a realidade da empresa.

3.1. Consumos energéticos

Concluiu-se, que são utilizados 2 tipos de energia distinta no processo industrial: eletricidade e fuelóleo². No Apêndice A é apresentado um esquema que sintetiza os fluxos de energia consumida na instalação.

A ferramenta básica de gestão de energia consiste em acompanhar mensalmente o consumo energético a partir das faturas mensais apresentada pelos fornecedores. Neste sentido, e visto que esse registo não existia, criou-se um histórico de faturação dos últimos 3 anos. Na elaboração desse registo, numa primeira fase, organizaram-se todas as informações retiradas das faturas em tabelas para de seguida se fazer uma análise cuidada destas. Com isto, para além de se estar a criar um histórico de fácil acesso, vai-se facilitar a

² Na verdade, o combustível utilizado denomina-se por SIMIL, combustível alternativo ao gasóleo de aquecimento obtido, neste caso, a partir de resíduos oriundos do setor naval. Contudo ao longo do presente texto vai designar-se esse combustível como fuelóleo.

análise destes dados ao longo do tempo, permitindo assim a deteção de algumas anomalias. Este registo serve também como primeiro guia para se saber como e onde poderão ser aplicadas algumas medidas de aumento de eficiência.

Nas figuras seguintes são apresentados os históricos mensais de consumo, por tipo de energia, desde 2018 a 2020. Estes gráficos foram elaborados com base dos dados disponibilizados pela empresa (ver Apêndice B).

3.1.1. Consumo de eletricidade

A empresa é abastecida em Média Tensão, isto é: a tensão é superior a 1 kV e inferior a 45 kV. Relativamente ao ciclo horário, a empresa está regulada, neste momento, pelo ciclo semanal com feriados (consultar ciclo no Apêndice C).

Em 2018 a Rechapal teve dois fornecedores de energia elétrica. A Axpo, no primeiro semestre, e a Elusa, no segundo semestre. Esta última, contudo, deixou de comercializar energia elétrica obrigando a empresa a procurar um novo fornecedor. Esse fornecedor é a Galp – Comercialização Gas&Power.

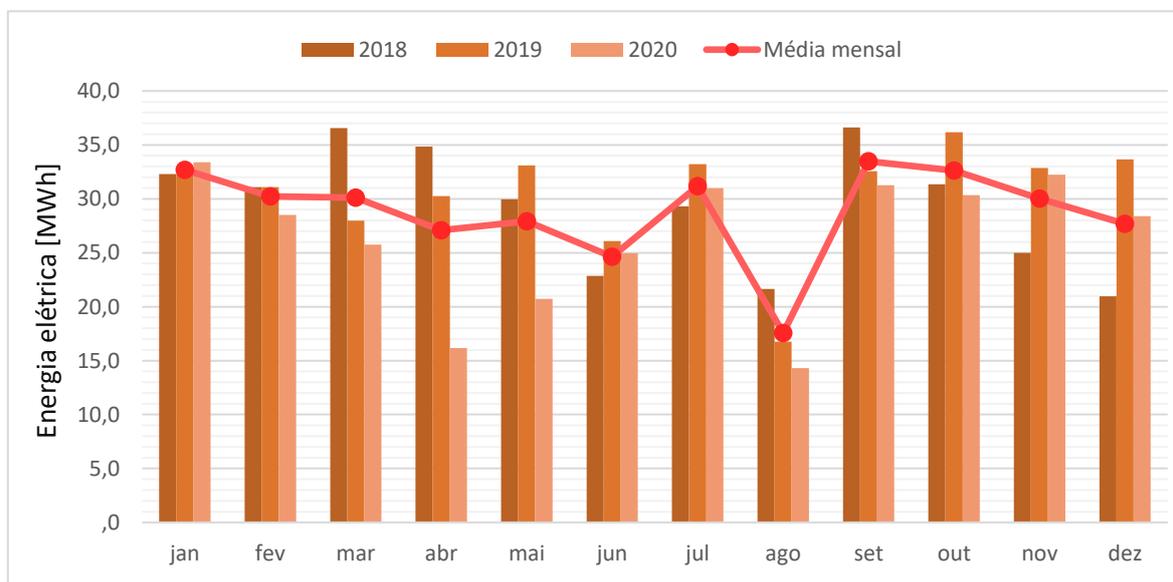


Figura 3-1 – Energia elétrica faturada mensalmente nos anos 2018, 2019 e 2020

Verificam-se algumas flutuações nos valores mensais sendo que a redução significativa que se observa para o mês de agosto, onde os consumos baixam abruptamente, se deve a paragem que ocorre nas últimas 2 semanas desse mês. No mês de abril de 2020 observa-se uma queda acentuada no consumo de energia elétrica, estendendo-se até maio,

devendo-se está às medidas tomadas no combate à pandemia. Essas medidas obrigaram a empresa a trabalhar abaixo da sua capacidade normal, havendo mesmo períodos de paragem total. Para além disto, o número de encomendas também teve um decréscimo bastante significativo.

Os consumos de energia elétrica dos anos de 2018, 2019 e 2020 foram, respetivamente, de 360 620 kWh, 366 037 kWh e 317 005 kWh.

3.1.2. Consumo de combustível

Na caldeira é queimado fuelóleo com a finalidade de produzir o vapor que é consumido em toda a fábrica, nas diversas prensas e no autoclave. Na figura 3.2 são apresentados os consumos mensais deste combustível para os anos de 2018, 2019 e 2020.

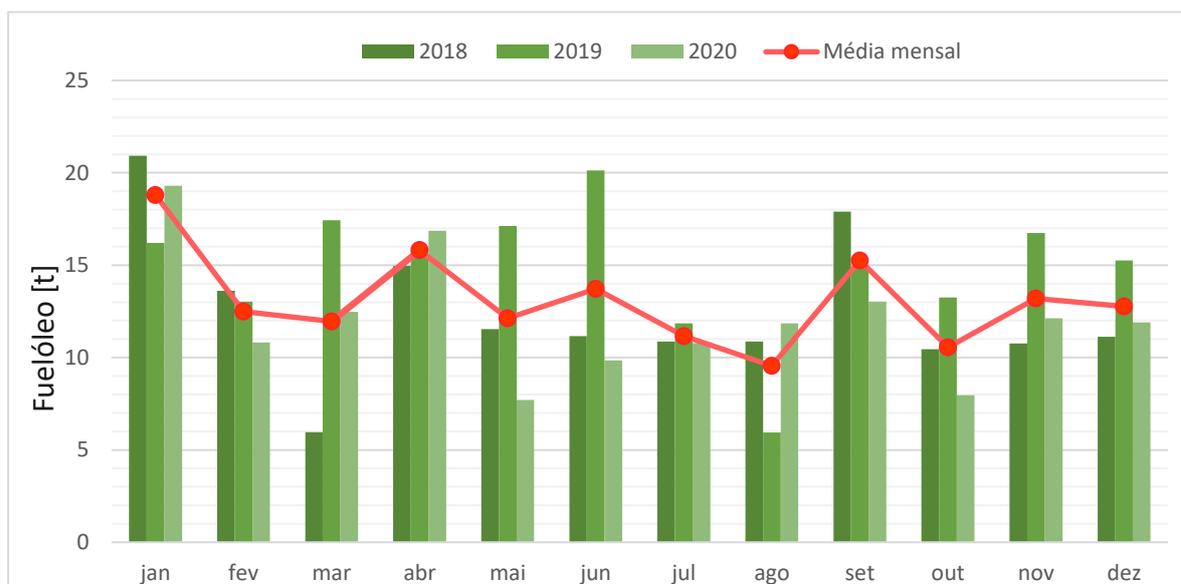


Figura 3-2 - Fuelóleo faturado mensalmente nos anos de 2018, 2019 e 2020

Por não existir qualquer tipo de contador de combustível entre o depósito de armazenamento e o queimador é importante referir que o que se apresenta neste gráfico não são na verdade os consumos de fuelóleo mensal, mas sim a quantidade que é adquirida/faturada em cada mês. Devido a este fato, os consumos apresentados na Figura 3-2 mostram-se muito instáveis, não existindo nenhum tipo de padrão. Contudo, é possível verificar que os consumos são tendencialmente mais elevados nos meses de inverno. Isso pode indicar um défice de isolamento no sistema, o que leva a que nos meses mais frios as perdas sejam maiores. Vê-se ainda que nos meses de maio e junho de 2020 o consumo foi

muito mais baixo do que nos anos anteriores, isto, novamente, como consequência da pandemia. Este decréscimo apenas ocorre no mês de maio, ao contrário do consumo de energia elétrica em que essa diminuição é visível logo em abril. Pode-se concluir que isto se deve à encomenda de fuel ter sido feita antes de qualquer tipo de paragem na produção, estando-se a contar com uma produção normal. Tal como na Figura 3-1 aqui também existe uma redução do consumo no mês de agosto, contudo, esta não é tão acentuada como no caso da eletricidade.

Os consumos de fuelóleo nos anos de 2018, 2019 e 2020 foram, respetivamente, de 150,14 t, 177,46 t e 144,64 t.

3.2. Dados da produção e do valor de vendas

A empresa forneceu os valores de produção da instalação (Apêndice D), estando estes apresentados sob a forma gráfica na Figura 3-3. A produção apresenta alguma irregularidade ao longo destes três anos havendo uma clara diminuição da produção nos meses de abril e maio de 2020. Apesar da diferença não ser tão acentuada, esta tendência mantém-se nos meses seguintes, retomando a normalidade apenas em setembro. O seu máximo foi atingido em março de 2018 com 1 730 unidades e o seu mínimo em agosto de 2020 com uma produção de apenas 476 unidades. Na Rechapal, os pneus vulcanizados a quente, representam a fatia mais significativa da produção.

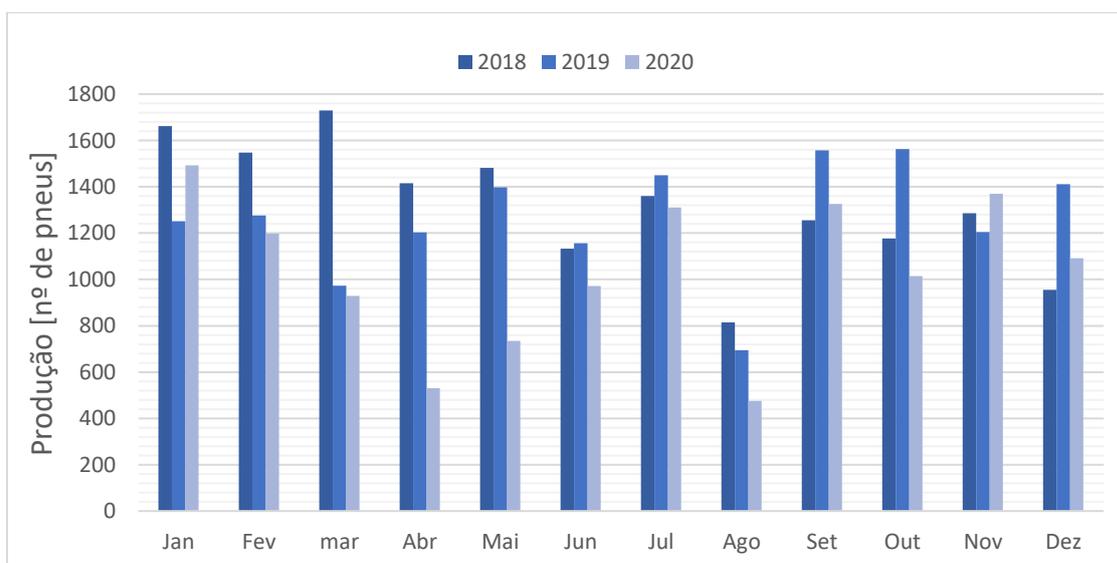


Figura 3-3 – Valores mensais do número de pneus produzidos nos anos de 2018, 2019 e 2020

Na Figura 3 4 mostra-se o valor mensal de vendas da empresa, nos anos de 2018, 2019 e 2020.

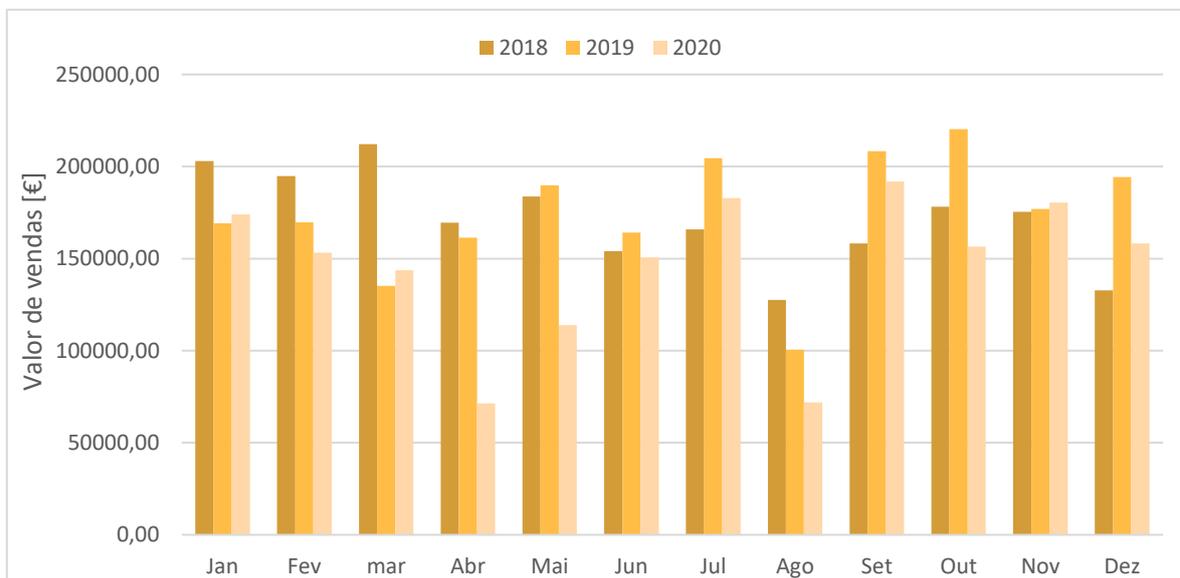


Figura 3-4 – Valores mensais de vendas referentes aos anos de 2018, 2019 e 2020

3.3. Consumos de energia primária

De maneira a quantificarem-se as diversas formas de energia, de uma forma equivalente, a legislação portuguesa atribui um coeficiente de conversão a energia primária equivalente, a cada forma de energia. Assim converte-se toda a energia para o mesmo tipo e a mesma unidade, sendo esta energia primária e a unidade é a “tonelada equivalente de petróleo” (sendo mais comumente chamada de “tep”).

No despacho nº17313/2008 de 26 de junho, disponível no Anexo A, estão apresentados os fatores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis selecionados para utilização final, como também dos respetivos fatores para o cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kgCO₂e) [5]. Contudo, o combustível utilizado pela empresa não é igual a nenhum dos combustíveis tabelados no despacho, tendo, portanto, de se proceder ao cálculo desse fator de conversão. Para estes casos o despacho apresenta uma expressão que transforma o valor do poder calorífico inferior (PCI) do combustível de MJ/kg para tep/t [5], sendo esta:

$$PCI (tep/t) = \frac{PCI (MJ/kg)}{41,868} \quad (1)$$

Sendo que esta expressão considera a conversão de tep em MJ utilizada pela Agência Internacional da Energia (1 tep = 41,868 MJ).

Visto que o fuelóleo utilizado tem um PCI de 41.61 MJ/kg (valor calculado no capítulo 4, da presente dissertação), então:

$$PCI (tep/t) = \frac{41,61}{41,868} = 0,994 tep/t$$

É também dito que para combustíveis líquidos não referidos explicitamente no despacho deverão ser utilizados os valores de referência de fator de emissão de 73 kgCO₂e/GJ.

Na Tabela 3-1 são apresentados os fatores conversão das diferentes fontes de energia utilizadas, como também os seus respetivos fatores de emissão.

Tabela 3-1 - Fatores de conversão em energia primária equivalente e emissões de GEE das energias utilizadas

Energia	Fator de conversão	Fator de emissão de GEE
Eletricidade	$215 \times 10^{-6} tep/kWh$	0,47 kgCO ₂ e/kWh 2186,05 kgCO ₂ e/tep
Fuelóleo	0,994 tep/t	73 kgCO ₂ e/GJ 3037,46 kgCO ₂ e/tep

Pela análise da Tabela 3-2, conclui-se que esta empresa não se trata de uma consumidora intensiva de energia, pois, o seu consumo é inferior a 500 tep por ano. Por

consequência a adesão ao SGCIE por parte desta não é obrigatória, contudo, poderá aderir a este plano de forma voluntária.

Tabela 3-2 - Energia primária equivalente e custos das energias envolvidas no ano de 2018,2019 e 2020

Energia	Energia primaria equivalente [tep]			Custo [€]		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Eletricidade	75,39	78,70	68,16	59 462,08	54 552,50	42 254,23
Fuelóleo	149,24	176,41	143,77	57 417,19	73 752,80	60 967,05
Total	224,63	255,10	211,93	116 880,12	128 305,30	103 221,28

3.3.1. Representação dos resultados obtidos

Nos gráficos apresentados abaixo é mostrada a desagregação do consumo e do custo de energia pelos diferentes tipos usados na unidade fabril.

- **Consumo anual de energia (em tep)**

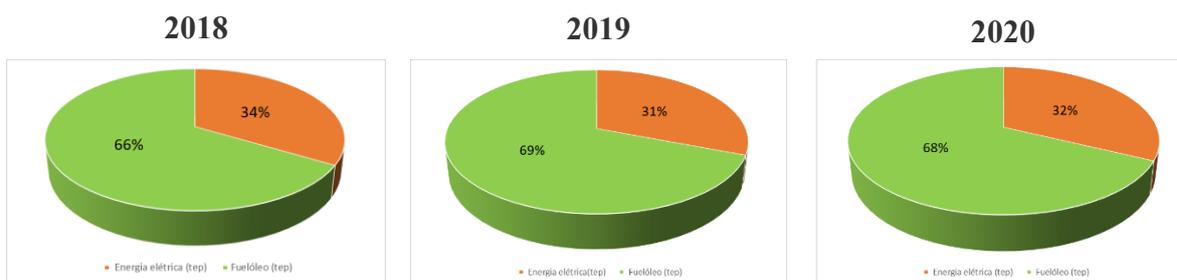


Figura 3-5 - Representação do consumo anual de energia em percentagem

É notória a relação percentual existente entre os consumos, sendo esta mais ou menos constante ao longo dos 3 anos, aproximadamente 32.33-67.66%, respetivamente de eletricidade e fuelóleo.

- Custo anual da energia consumida**

Em termos monetários, estas duas fontes de energia, assumem as proporções mostradas na Figura 3-6.

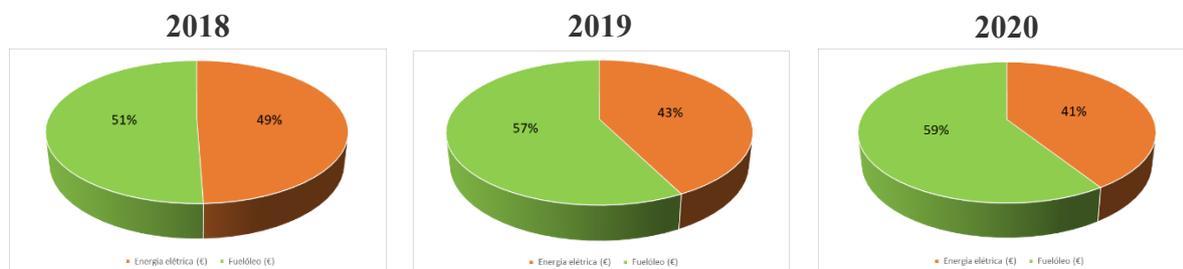


Figura 3-6 - Representação do custo anual da energia em percentagem

Onde a média percentual é de 44,33-55,66%, respetivamente, para o custo da eletricidade e do fuelóleo. É ainda interessante notar que a eletricidade, apesar de representar 32,33% do consumo de energia total a sua percentagem nos custos totais é de 44,33%, esta diferença, já algo significativa, indica que o seu custo por tep (€/tep) é bastante mais elevado que o custo do fuelóleo.

- Indicadores financeiros**

Tabela 3-3 - Resumo dos custos energéticos

Ano	Eletricidade			Fuelóleo			Total	
	€/kWh	€/tep	€/unid.	€/ton	€/tep	€/unid.	€/tep	€/unid.
2018	0,170	788,77	3,76	382,42	384,73	3,63	1 173,50	7,39
2019	0,149	693,19	3,60	415,58	418,09	4,87	1 111,28	8,48
2020	0,133	619,96	3,40	421,51	424,05	4,90	1 044,02	8,29

Por unidade entende-se pneu produzido

3.3.2. Relação entre consumos energéticos e produção

Na figura seguinte demonstra-se a importância relativa de cada fonte de energia consumida em tep's anuais e a sua relação com a produção.

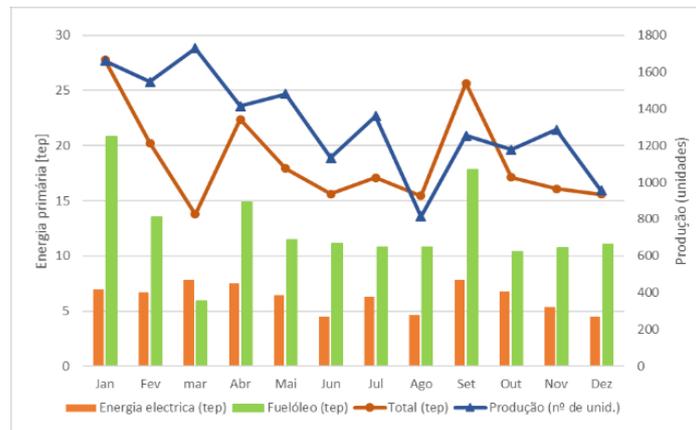


Figura 3-7 - Valores de produção e de consumo de energia primária para o ano de 2018

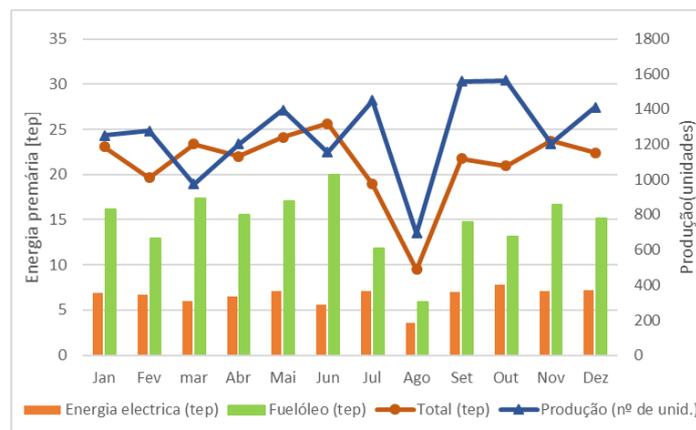


Figura 3-8 - Valores de produção e de consumo de energia primária para ano de 2019

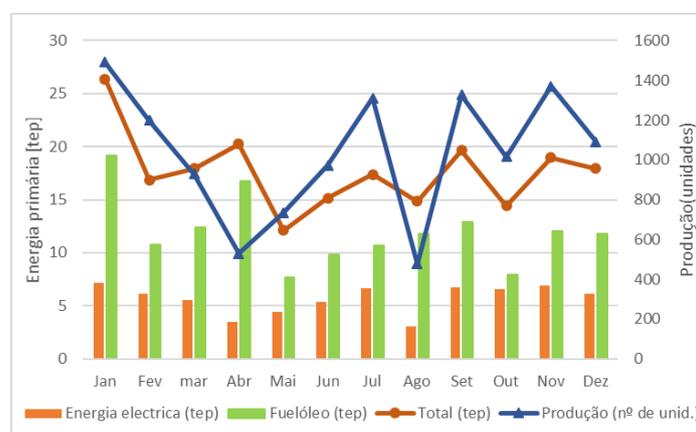


Figura 3-9 - Valores de produção e de consumo de energia primária para o ano de 2020

3.4. Indicadores energéticos

Finalizadas a recolha das informações referentes e a energia e a sua repartição, efetuou-se então a determinação dos indicadores energéticos da instalação. Procedeu-se à determinação da evolução mensal de cada indicador, permitindo avaliar a sua variação em função dos respetivos parâmetros de calculo (consumo de energia, produção e relação entre custo da energia).

Dispõem-se, num gráfico de dispersão, os consumos de energia, dos últimos 3 anos, em função da produção.

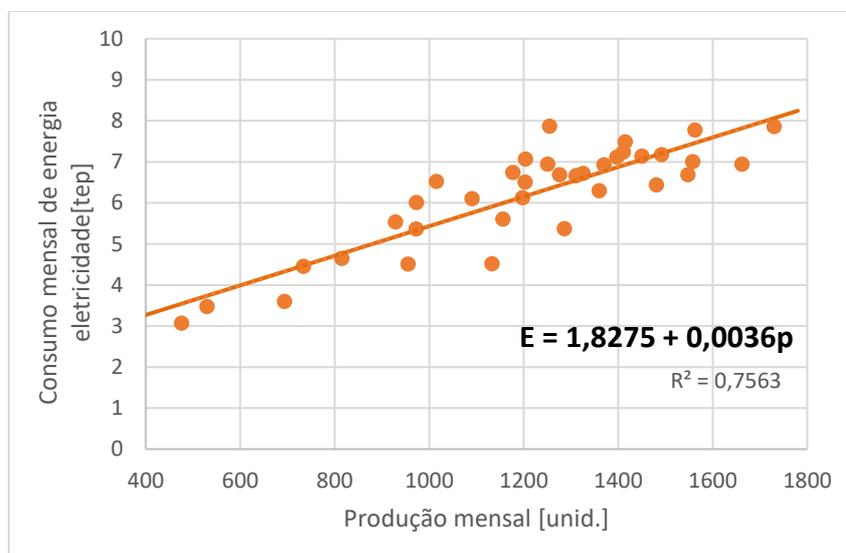


Figura 3-10 - Relação entre o consumo mensal de eletricidade e a produção (2018,2019 e 2020)

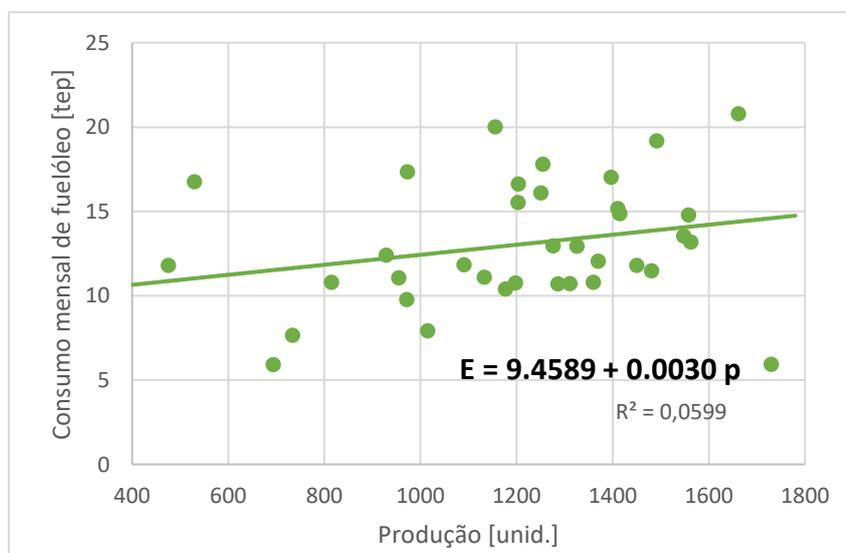


Figura 3-11 - Relação entre o consumo mensal de fuelóleo e a produção (2018,2019 e 2020)

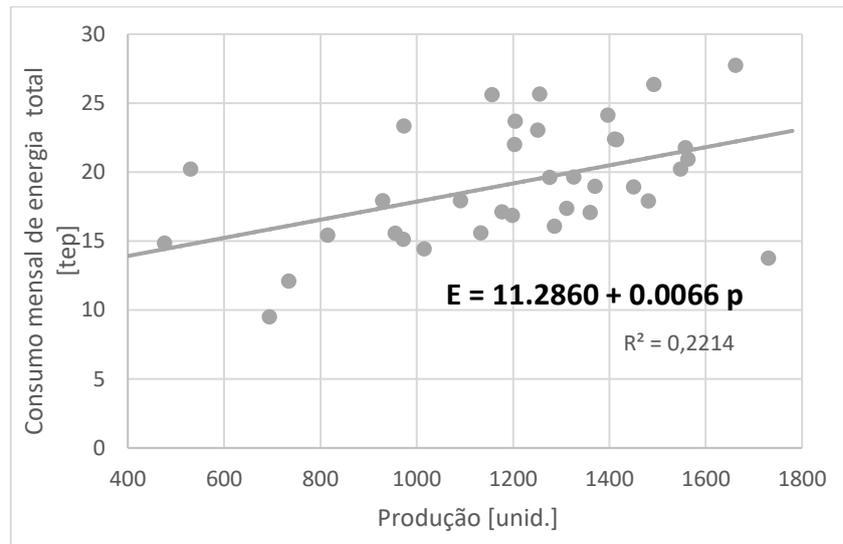


Figura 3-12 - Relação entre o consumo mensal de energia primária e a produção (2018,2019 e 2020)

Aproximando a variação do consumo de energia com a produção por uma reta, pode escrever-se:

$$E = E_0 + b p \quad (2)$$

Em que E se refere à energia consumida mensalmente, E_0 representa a parcela da energia que é independente da produção, estando esta, por norma, associada a consumos provenientes de serviços auxiliares e/ou perdas independentes da produção. De maneira simplificada, pode-se dizer que estes são os consumos necessários só para manter o sistema a funcionar, existindo mesmo que não haja nenhum pneu a ser produzido. O declive da reta, b, representa o coeficiente de afetação da energia à produção, ou seja, refere-se à parcela de energia dependente da produção (p).

A dispersão dos pontos é dada pelo coeficiente de determinação (R^2). Quanto mais próximo este estiver da unidade, mais fielmente a reta prevê o valor de energia consumida para qualquer valor de produção. Este coeficiente também é um parâmetro fundamental para a análise da eficiência energética das instalações. Um valor baixo de R^2 significa que o potencial de economia de energia é elevado, já um valor alto de R^2 significa o contrário [6]. Isto porque um R^2 baixo indica que o consumo de energia está dependente de outros fatores, para além da produção. Fatores estes que não influenciam em nada a

produção, devendo-se, portanto, diminuir estes ao máximo. Diminuindo-se assim os consumos sem diminuir a produção.

Dos gráficos apresentados anteriormente, o que se refere à energia elétrica, (Figura 3-10) apresenta alguma semelhança de valores relativamente à reta de regressão, com o coeficiente de determinação a apresentar um valor moderado de $R^2=0,7563$. A parcela de energia independente da produção é também algo significativa, cerca de 1,8275 tep. Muito provavelmente, estes valores devem-se, aos gastos associados com a iluminação, à pequena secretaria existente nas instalações e principalmente às fugas de ar comprimido existentes. O valor de R^2 e E_0 diz-nos, então que existe espaço para ocorrerem melhorias.

Já no que se refere ao fuelóleo, (Figura 3-11) este apresenta uma dispersão considerável de valores, com o coeficiente de determinação a apresentar um valor muito baixo, de $R^2=0,0599$, número muito mau. Já a parcela de energia independente da produção é muito significativa, cerca de 9.4589 tep. Tais valores indicam, que pode haver mais fatores a afetar o consumo de energia além do número de pneus produzidos. Como por exemplo, do tipo/tamanho de pneus produzidos (visto que não se fez qualquer distinção entre estes). Mas ainda existem outros, como a temperatura ambiente, visto que, com temperaturas mais baixa a água entra na caldeira a temperaturas também mais baixas e as perdas no sistema de distribuição também são maiores, existindo, assim então um grande potencial de reduzir estes consumos. Ressalta-se ainda que muita desta discrepância existente entre a reta de regressão e os vários pontos se deve ao facto de não estarmos a utilizar os valores de consumo real, mas sim a faturação de cada mês.

No gráfico referente ao consumo total de energia (Figura 3-12), constata-se que 11.29 tep consumidos são independentes da produção. Este valor é bastante alto, correspondendo a mais de 50% da energia consumida, na grande maioria dos meses. Pode então concluir-se que existe grande margem para a diminuição dos consumos, principalmente no que diz respeito ao consumo de fuel.

3.4.1. Consumo específico de energia

O consumo específico de energia (CEE) é um indicador energético que representa o consumo de energia por unidade de produto. Relacionando os consumos de

energia com as produções podem determinar-se os consumos específicos de energia para diferentes produtos, sejam globais (como no caso estudado), ou para cada processo.

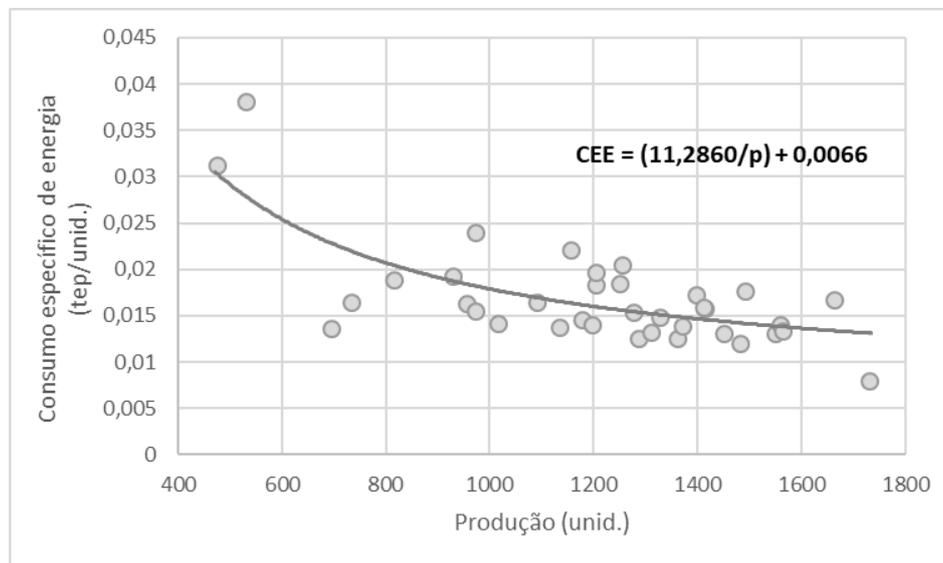


Figura 3-13 - Relação entre o consumo específico de energia e a produção

Na figura acima, para além dos valores de consumo específico de energia dos vários meses da empresa é também apresentada a curva de consumo específico. Esta é conseguida através da divisão de ambos os membros da equação de regressão linear, da Figura 3-12, pelo valor da produção.

$$\frac{E}{p} = \frac{E_0 + b p}{p} \Leftrightarrow CEE = \frac{E_0}{p} + b \quad (3)$$

Através da Figura 3-13, observa-se a diminuição do CEE ocorre com o aumento da produção, tendendo assintoticamente para um valor constante para valores de produções mais elevados. Isto deve-se ao consumo independente da produção ser compensado (ou perder importância) por um maior número de unidades produzidas.

É possível, ainda, a redução deste indicador através do aumento da eficiência energética, ou seja, diminuir o consumo de energia para o mesmo valor de produção.

3.4.2. Intensidade energética e relação entre o custo de energia e vendas

A informação disponível e recolhida não permite o cálculo do indicador económico mais conhecido, a intensidade energética, isto pois apenas se consegue o valor acrescentado bruto de cada unidade de pneu, mas visto que estes têm dimensões muito variáveis o mais correto a fazer-se seria calcular este indicador em relação à massa de borracha produzida e não à unidade. Contudo, não foi possível obter esta informação. Pelo que se irá analisar a relação entre o custo da energia e as vendas. Esses valores são apresentados na Figura 3-14 em função da produção.

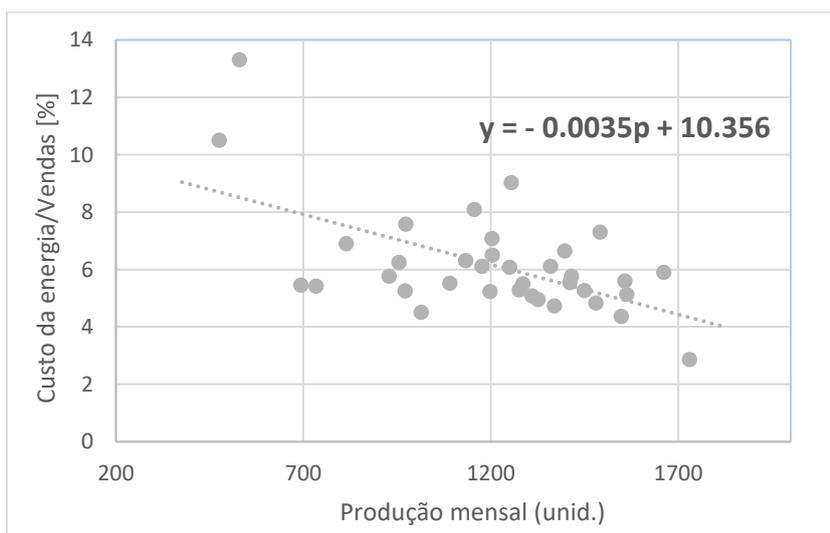


Figura 3-14 - Relação entre custo de energia e vendas [%] vs produção

Conclui-se, tal como no ponto anterior, que com o aumento da produção a relação de custo de energia e valor de venda diminui. Sendo de interesse da empresa que esta relação seja o menor possível, pois assim terá uma maior margem de lucro ou então conseguiram diminuir o preço final do produto aumentando assim a sua competitividade.

3.4.3. Resumo dos indicadores energéticos atuais

Por último, encontram-se resumidos, na Tabela 3-4, os valores determinados para os três indicadores de eficiência energética, referentes aos três anos em estudo.

Tabela 3-4 Resumo dos indicadores energéticos

	Eletricidade		Fuelóleo		Total	
	Consumo específico [kgep/unid.]	Custo/Venda [%]	Consumo específico [kgep/unid.]	Custo/Venda [%]	Consumo específico [kgep/unid.]	Custo/Venda [%]
2018	4,77	2,89	9,41	2,79	14,18	5,68
2019	5,20	2,60	11,65	3,52	16,85	6,12
2020	5,48	2,42	11,55	3,49	17,03	5,91

3.5. Benchmarking

Um *benchmarking* trata-se de avaliação do desempenho de determinada organização, comparando os seus produtos ou processos, externamente com organizações do mesmo setor ou internamente com operações que desempenhem atividades semelhantes [7], com o objetivo de melhorar a sua eficiência produtiva, económica ou energética. De maneira a avaliar a situação energética da Rechapal ir-se-á, neste capítulo, comparar os indicadores de desempenho energético já calculados com o de outras empresas do mesmo setor, recorrendo para isto à base de dados do *Industrial Assessment Centers* [8].

De modo a estabelecer estas comparações sobre o estado de eficiência energética torna-se necessário dispor de um sistema de contabilidade energética que permita selecionar indicadores que relacionem o consumo de energia com a produção ou com o valor acrescentado bruto. A fábrica não dispunha de nenhum sistema destes, foi então criado tal como se mostra nos pontos anteriores, ficando a conhecer-se os consumos ao longo do tempo de todas as formas de energia utilizadas e a sua relação com a produção.

Selecionou-se um indicador técnico, o consumo específico, e como não foi possível realizar o cálculo da intensidade energética, o indicador económico selecionado para proceder a esta comparação foi a relação entre o custo de energia e as vendas.

Comparação com empresas do mesmo setor

Recorrendo à base de dados do IAC [8], apenas se conseguiu recolher os dados do consumo de energia e da produção de 2 empresas com atividades semelhantes às

desenvolvidas pela Rechapal. Na Tabela 3-5 é apresentada a localização, os produtos produzidos e os dados relativos à produção e aos consumos de energia anuais das empresas selecionadas, da base de dados do IAC e da Rechapal. Informações adicionais, destas empresas, podem ser encontradas no Apêndice E. Com base nestas informações foram comparados os valores relativos ao consumo de energia, assim como o consumo específico, e a relação entre os custos de energia e as vendas.

Tabela 3-5 - Informações das empresas selecionadas para o benchmarking.

Empresa	Localização	Principais Produtos	Produção anual [unid.]	Consumo de energia [tep]			Consumo específico (kgep/unid)	Relação entre o custo de energia e vendas [%]
				Energia elétrica	Gás natural	Energia primária total		
#1	Missouri	Pneus recauchutados de aeronaves	48 000	3146,2	13182,9	991,2	20,65	5,22%
#2	Arizona	Pneus recauchutados	10 000	572,6	29283,9	822,4	82,24	0,34%
Rechapal	Portugal	Pneus recauchutados	43 397 ³	222,2 ³	469,4 ^{3 4}	691,7 ³	15,94 ⁵	5,77% ⁵

			Consumo de energia primária [MJ]
Continental	-	Por cada pneu ligeiro	147,45
Rechapal	Portugal	Por pneu produzido	539,36

Observando a Tabela 3-5 vemos que o consumo de energia da Rechapal é menor do que as outras duas empresas, isto apesar, da sua produção ser bastante mais elevado que uma delas e menor (mas não muito), que a outra. Graças a isto o consumo específico de energia é menor comparativamente às outras duas. Por outro lado, a relação entre o custo da energia e as vendas é a maior das 3, isto poder ser causado por dois motivos, o preço de venda dos produtos é menor ou então o preço da energia é mais elevado.

³ Valor referente à soma dos três anos

⁴Valor referente a consume de fuelóleo

⁵ Valor médio dos 3 anos

Relativamente ao consumo específico foi uma surpresa constatar a Rechapal apresenta o menor valor, isto pois, como vai ser visto mais a frente, neste documento, esta empresa têm uma grande ineficiência na forma como utiliza a energia, fazendo com que os seus consumos sejam mais elevados do que seria necessário. Contudo, só se está a fazer esta comparação com duas empresas, tratando-se de uma amostra bastante reduzida, por isso, deve-se ter algum cuidado para não se tirar conclusões precipitadas. Ainda para mais não são conhecidos com detalhe as características dos pneus produzidos pelas diferentes unidades industriais, sabe-se apenas que a empresa #1 produz apenas pneus de aeronaves.

Sabendo disto, fez-se uma pesquisa mais profunda para assim se conseguir informações de mais empresas da área, encontrando-se um estudo feito pela empresa Continental [9]. Neste é dito que por cada pneu ligeiro recauchutado é consumido, em média, 147,45 MJ de energia primária. Já na Rechapal são gastos, em média por pneu, 539,36 MJ de energia primária, contudo, este valor é uma média de todos os pneus produzidos englobando outros, para além de só pneus ligeiros.

Novamente, não podemos proceder a uma comparação direta, devidos as características diferentes dos pneus. É então necessária mais informação de empresas do mesmo setor de atividade, o que não foi conseguido, para se conseguir dizer em que situação se encontra a empresa em estudo relativamente às demais. Contudo, a partir do já mostrado nos pontos anteriores existe muita margem para esta melhorar.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONSUMIDORES DE ENERGIA

Primeiramente, foi realizado um reconhecimento de toda a fábrica em que foi dada especial atenção aos equipamentos consumidores de energia e ao seu modo de funcionamento.

Neste capítulo, ir-se-á detalhar os dois grandes consumidores de energia encontrados nas instalações: o sistema de produção e distribuição de vapor, que é, simultaneamente, o consumidor de todo o fuelóleo utilizado e o sistema de produção de ar comprimido, consumidor de uma grande parte energia elétrica utilizada na fábrica.

4.1. Sistema de produção e distribuição de vapor

Este sistema é constituído por uma caldeira de vapor saturado e a sua chaminé, um depósito de condensados, equipamento para se proceder ao tratamento da água de reposição, um desgasificador, 2 coletores de vapor, para além de tubagens de distribuição e os diversos componentes e acessórios que, no seu conjunto, constituem a rede de distribuição. O esquema da instalação de produção e distribuição de vapor é apresentado no Apêndice F.

A caldeira utiliza fuelóleo como combustível, no entanto, no momento inicial desconhecia-se ao certo qual a composição deste. A caldeira é responsável por produzir vapor saturado, utilizado para se proceder à vulcanização. No regime de funcionamento normal opera a uma pressão média de serviço de 8.0 bar absolutos, produzindo vapor à temperatura de saturação correspondente, cerca de 170 °C. Constatou-se que a caldeira se encontra bem isolada na totalidade, à exceção da frente, tal como é visível na Figura 4-1. Estando mais fotografias termográficas, disponíveis no Apêndice G.

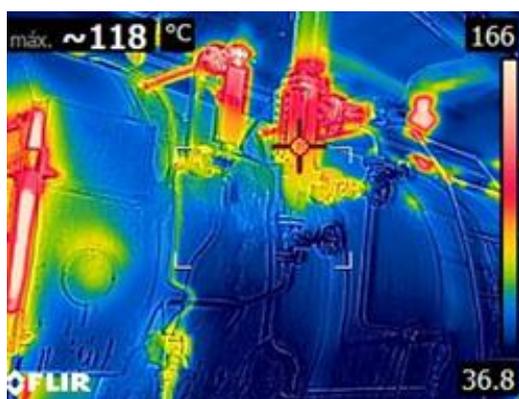


Figura 4-1- Imagem termografica da lateral da caldeira

As principais características da caldeira e do queimador encontram-se resumidas na tabela seguinte.

Tabela 4-1 - Características da caldeira de vapor e do respetivo queimador.

Caldeira	
Marca	TERMEC – Equipamentos térmicos de Coimbra, LDA
Tipo de caldeira	Pirotubular
Ano de fabrico	1979
Timbre [kg/cm ²]	10
Pressão normal de serviço [bar]	8
Capacidade de produção de vapor [kg/h]	3050
Superfície de aquecimento [m ²]	65
Capacidade [m ³]	7,35
Potencia nominal [MW]	1,70
Controlo de nível	On/Off
Queimador	
Marca	SAACKE
Tipo	Copo rotativo
Modo de funcionamento	Máximo/desligado
Permite regulação de excesso de ar	Sim

Durante o período de trabalho da instalação, a caldeira está sempre a produzir vapor, de acordo com as necessidades. O queimador funciona sempre no mesmo estágio, isto é, consome sempre o mesmo caudal de combustível. A caldeira conta com manómetros de pressão interior e um termómetro na saída, dos gases, da caldeira. Não tendo, contador de vapor nem de combustível e não possui indicação do teor de O_2 e CO nos gases de combustão.



Figura 4-2 – Fotografia da caldeira utilizada nas instalações

Todo o vapor produzido na caldeira é encaminhado para um primeiro coletor que tem duas saídas. A primeira leva o vapor a 8 bar absolutos para os autoclaves (gerindo este de forma autónoma a temperatura do seu inteiro), já a segunda saída liga com a outro coletor, sendo que entre os dois existe uma válvula redutora de pressão que diminui a pressão do vapor dos 8 bar para os 6 bar absolutos, passando aqui a temperatura do vapor saturado para $159^{\circ}C$. Deste segundo coletor saem 5 linhas que se distribuem pela fábrica, levando o vapor para as diversas prensas, sendo que nenhuma está protegida com isolamento térmico. Todas as linhas que saem de ambos os coletores têm $1.1/2''$ polegadas de diâmetro.

No interior das prensas o vapor perde calor latente (para o pneu), o que leva a sua condensação. Existe uma rede de tubagens responsável por levar o condensado, dos diversos utilizadores, até ao depósito de recolha de condensados. Esta recuperação de condensados traz grandes vantagens, tanto do ponto de vista energético como na economia de água tratada. O depósito encontra-se à pressão atmosférica e está localizado no exterior das instalações, junto a sala da caldeira. Como os condensados estão a pressão superior à pressão atmosférica (estando à mesma pressão que o vapor que chega aos utilizadores), a descarga no depósito resulta na formação de vapor flash.

No caso desta água que resulta da recolha de condensados não ser suficiente para manter o nível de água no interior da caldeira (visto que ocorrem algumas perdas de vapor tanto no depósito atmosférico como no desgaseificador) é adicionada água da rede. Os condensados do depósito atmosférico, a uma temperatura de cerca de 85°C são bombeados para o desgaseificador, que se encontra à pressão atmosférica (1 bar). A função deste equipamento é remover os gases de carácter corrosivo, como o O₂ e especialmente o CO₂ [11] que se encontram dissolvidos na água que alimenta a caldeira. A desgaseificação é efetuada por via térmica, ao injetar vapor proveniente da caldeira diretamente na água de alimentação removendo assim os gases e elevando a temperatura para cerca de 93°C. Na saída do desgaseificador a água é submetida a um tratamento para corrigir o seu pH para valores próximos de 10.

A purga de fundo da caldeira, responsável por remover os sólidos e lamas formados na água, é automática. Para cada hora de funcionamento da caldeira, a purga está aberta 2 minutos, (3,33% do tempo).

4.1.1. Caracterização energética da caldeira

A caldeira consome todo o fuelóleo utilizado nas instalações, sendo, por isso, o principal consumidor tanto do ponto de vista energético como económico, que existe nesta unidade industrial; deve-se, por isso, ter especial atenção com o seu funcionamento e caracterização. No presente capítulo vai-se analisar detalhadamente o rendimento da caldeira o que inclui a análise do combustível utilizado e a caracterização dos gases de combustão...

4.1.1.1. Análise do combustível

Para se proceder à caracterização energética da caldeira é necessário conhecer algumas características do combustível utilizado. Entre essas estão a sua composição química e o poder calorífico inferior. Nenhum destes valores era conhecido pela Rechapal. A empresa fornecedora apenas se compromete a vender combustível com menos de 1% de enxofre na sua composição, não indicando nem o conteúdo energético nem a composição elementar.

Análise elementar

Para se apurar, qual a composição química do fuelóleo foi enviada uma amostra de combustível para o Centro de Investigação em Engenharia dos Processos Químicos e dos Produtos da Floresta (CIEPQPF), para se realizar uma análise elementar. Esta revelou a sua composição, numa base mássica (w/w) do C, H, N e S, os resultados obtidos no Anexo B.

A Tabela 4-2 mostra a percentagem mássica de cada elemento no combustível. É interessante reparar que a quantidade de enxofre é muito reduzida, estando de acordo com o garantido pelo fornecedor. Esta baixa percentagem de enxofre é uma característica com grande importância quando se pretende implementar um economizador nas caldeiras, tema abordado mais a frente nesta dissertação.

Tabela 4-2 - Percentagens mássica dos diferentes constituintes do combustível.

% N (w/w)	% C (w/w)	% H (w/w)	% S (w/w)
0,143 ±0.007	82,095 ±0.511	14,843 ±0.367	≤100 ppm

A soma da percentagem mássica dos diferentes elementos dados pela análise elementar dá um valor de 97,081%. Considera-se, então, que os restantes 2,919% corresponde à percentagem mássica de oxigénio (O).

Determinação experimental do poder calorífico

Para apurar o poder calorífico inferior do combustível procedeu-se à sua determinação experimental. Os ensaios foram realizados utilizando o calorímetro 1341 *Oxygen Bomb Calorimeter*, da empresa Parr. O procedimento utilizado foi o descrito no Apêndice H. Foram realizados 4 ensaios, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 4-3 - Resultados dos 4 ensaios para determinação o poder calorífico realizados ao fuelóleo.

Ensaio	Massa amostra	Poder calorífico superior		Poder calorífico inferior
	[g]	kcal/kg	MJ/kg	MJ/kg
1	1,0452	10 698	44.79	41.64
2	1,0155	10 713	44.85	41.70
3	1,0026	10 649	44.58	41.43
4	1,0127	10 704	44.82	41.67
Média	1,0190	10 691	44.76	41.61
Des. Padrão	0,02	25,03	0,10	0,10

Podendo concluir então que o fuelóleo tem um poder calorífico inferior de cerca de 41.61 MJ/kg.

Custo energético do combustível utilizado

Tomando como referência o preço médio de 2020, (cerca de 0.422€/kg de fuelóleo), concluímos que o custo energético do combustível é de 0,037 €/kWh. Há que ressaltar não se ter a certeza de que a composição do fuelóleo se mantém constante, nas diferentes remessas. Por este motivo foi aconselhado à empresa realizar este tipo de testes regularmente, para assim ter sempre certeza das características do combustível que está a queimar. Através do cálculo do custo energético do fuelóleo, clarifica-se, se a substituição do combustível, por exemplo, por gás natural, traz ou não vantagens do ponto de vista económico. Neste caso, como visível na Tabela 4-4, o preço é bastante bom, sendo praticamente impossível encontrar-se um combustível no mercado com um custo energético mais baixo. Isto levou, a que fosse posta de parte a ideia de proceder à sua substituição.

Tabela 4-4 - Custo energético do fuelóleo.

Poder calorífico inferior	41,61	MJ/kg
Poder calorífico inferior	11,56	kWh/kg
Preço unitário do combustível	0,422	€/kg (2020)
Custo energético do comb.	0,037	€/kWh

4.1.1.2. Rendimento da caldeira

Pode-se definir o rendimento da caldeira como o valor percentual da razão entre o calor absorvido pela água, para produzir vapor, e a quantidade de contida no combustível consumido pela caldeira durante a produção desse vapor. A determinação deste rendimento pode se realizar através de dois métodos: método direto e o método indireto, também chamado método das perdas. Optou-se por utilizar o método das perdas, pois não foi possível aceder/medir todos os dados necessários (tais como o caudal de combustível queimado e o caudal da água de reposição), para se poder utilizar o método direto.

A avaliação do rendimento através deste método consiste na contabilização das principais perdas existentes na caldeira. O rendimento é dado pela diferença entre 100% e o somatório das diferentes perdas, em percentagem, relativamente a energia libertada na combustão. Estando a fórmula representado na seguinte expressão:

$$\text{Rendimento da caldeira} = 100[\%] - \text{somatório de perdas} [\%] \quad (4)$$

As perdas consideradas na caldeira, neste trabalho, foram de 3 tipos:

- Perdas na chaminé;
- Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizadas;
- Perdas na purga da caldeira;

- **Perdas pela chaminé**

As perdas por chaminé são calculadas, tendo em consideração a energia não aproveitada, e, portanto, perdida através dos gases de combustão que saem da caldeira para a atmosfera, através chaminé.

Estas perdas são influenciadas por 3 fatores:

- A temperatura com que os gases de combustão saem da caldeira para a chaminé. Quanto maior for a temperatura destes, maiores serão as perdas. Pois, isto indica, que energia que deveria ter sido transferida para a água é simplesmente libertada para o ambiente.
- A temperatura do ar de combustão, ou seja, do ar que entra na caldeira para realizar a reação de combustão.

- A percentagem de excesso de ar presente na reação de combustão. Podendo esta ser determinado a partir da composição dos gases de combustão. Sendo que quanto menor o excesso de ar melhor, isto se a quantidade de CO nos produtos se mantiver abaixo dos 150 ppm.

Sabendo isto, torna-se necessário conhecer as características dos gases de combustão. Para se obterem estas recorreu-se ao analisador de gases Testo 310, mostrado na Figura 2-4. Este tipo de medição, deve ser realizada num ponto da chaminé o mais próximo possível da saída da caldeira. Contudo, devido às condições encontradas na fábrica isto não foi possível, sendo que estas medições tiveram de ser realizadas a meio da chaminé. Este percalço fez com que não fosse possível confiar na temperatura dos gases dado pelo analisador, visto que estes vão arrefecendo ao longo da chaminé. Sendo, então, a temperatura de saída dos gases conseguida através de um termómetro do tipo relógio existente no início da chaminé, junto da saída da caldeira. Obtendo-se, assim, uma temperatura de saída dos gases de 240°C, tal como mostrado na Figura 4-3.



Figura 4-3 Termómetro redondo situado na saída dos gases de combustão da caldeira

Foram realizadas 3 medições das características dos gases de combustão, estando a média destas, na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 - Média dos resultados obtidos para as características dos gases de combustão.

Temperatura dos gases de combustão [°C]	240
O2 [%]	12,00
CO [ppm]	80
Temperatura do ar ambiente [°C]	24,98

De referir ainda a grande variação dos valores, principalmente de CO, ao longo do tempo de funcionamento do queimador. Sendo que no arranque os valores deste são muito elevados e instáveis, demorando algum tempo para caírem e estabilizarem, indicando a necessidade de algum tempo, por parte do queimador, para começar a realizar a queima completa do combustível.

Excesso de ar

Na combustão de um qualquer combustível, o valor estritamente necessário de ar para a combustão é função da substância combustível e da sua quantidade. Considera-se que o ar atmosférico é maioritariamente constituído por Oxigénio e Azoto nas percentagens de 21% e 79%, respetivamente. Dado que o Azoto pode ser considerado um gás inerte, o que interessa é avaliar a quantidade de O₂, estequiometricamente necessário, para se dar a conversão total do combustível nos seus produtos de reação. Contudo, na prática, é necessário adicionar uma certa quantidade à quantidade mínima necessária (teórica), devido à imperfeição da mistura entre o combustível e o comburente (O₂), para assim não se incorrer no risco de se ter combustível não queimado nos produtos da combustão. Isto, para além de originar perdas monetárias, pois está-se a desperdiçar combustível, aumenta a libertação de gases nocivos para o meio ambiente.

Mostra-se na Figura 4-4, a zona “ideal” do valor de excesso de ar/O₂, relativamente à combustão estequiométrica.

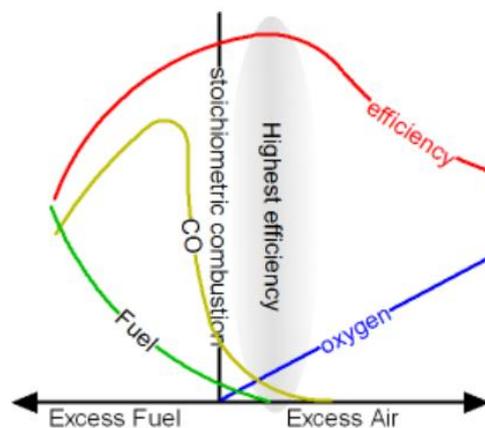


Figura 4-4 - Zona ótima de excesso de ar (FONTE:[10])

Sabendo a composição química do combustível e as quantidades de oxigénio e de monóxido de carbono existente nos gases de combustão, é possível saber o excesso de ar utilizado no processo de combustão, para isto é necessário comparar a reação de combustão ideal (com 0% de excesso de ar), com a reação real (que de facto está a ocorrer), sendo então o excesso de ar a diferença entre a quantidade de ar existente na reação real e a quantidade de ar necessária para ocorrer a reação ideal.

A partir dos valores obtidos da análise elementar (Tabela 4-2) é possível calcular-se o número de moles existentes de cada elemento químico, em 1 kg de combustível. Esses cálculos podem ser vistos no Apêndice I. Conhecida a composição química do combustível está-se em condições de escrever as equações da reação de combustão, tanto do caso real como ideal.

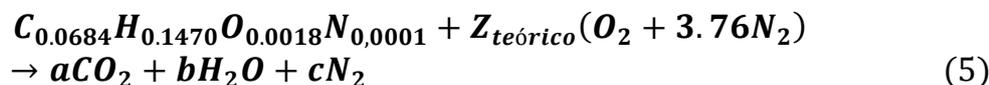
Na Tabela 4-6 estão resumidos os resultados obtidos. Visto que a quantidade de enxofre existente na composição do combustível é insignificante, está vai ser desprezada nos cálculos que se seguem.

Tabela 4-6 - Número de moles existentes em 1 kg de combustível

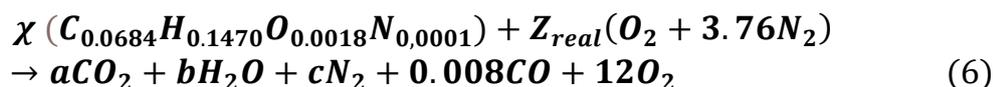
Massa total da amostra de combustível (kg)	C (kmol/kg _{Amostra})	H (kmol/ kg _{Amostra})	O (kmol/ kg _{Amostra})	N (kmol/ kg _{Amostra})
1	0,0684	0,1470	0,0018	0,0001

Constroem-se as equações da reação de combustão;

Equação química da reação teórica:



Equação química da reação real:



Através destas e como mostrado do Apêndice J, obtém-se um excesso de ar de 123,53%, na reação atual de combustão.

Percentagem de perdas pela chaminé

As perdas pela chaminé são conseguidas dividindo, a diferença entre o valor da energia total contida no combustível (PCI do combustível) e a energia libertada na reação real de combustão (q_{out}), pelo valor do PCI do combustível. Calculando-se este valor, em percentagem, através da seguinte fórmula:

$$P_{chaminé} [\%] = \left(\frac{PCI_{comb.} - Q_{out}}{PCI_{comb.}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Como já visto anteriormente, o PCI do combustível é de cerca de 41.61 MJ/kg, pelo que, para se poderem calcular as perdas pela chaminé é necessário calcular qual a energia libertada na reação real de combustão.

A energia libertada no processo de combustão é dada pela seguinte equação:

$$Q_{out} = \sum_P m \left(\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{T_{out}} - h_{T_{ref}}) \right) - \sum_R m \left(\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{T_{in}} - h_{T_{ref}}) \right) \quad (8)$$

Resultando, $Q_{out} = 34,04 \text{ MJ/kg}$, estando todos os cálculos necessários para se obter valor, apresentados no Apêndice K.

Então retomando a equação (9) fica:

$$P_{chaminé} [\%] = \left(\frac{41,61 - 34,04}{41,61} \right) \times 100 = 18,19\%$$

- **Perdas por radiação, convecção e outras perdas não-contabilizadas**

Sabendo que a caldeira, estudada, tem um potencia nominal de 2MW, de acordo com a tabela apresentada em baixo, sabemos que estes tipos de perdas correspondem a **1,6%**.

Combustível	Perdas à capacidade nominal (% P _r)
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade igual ou acima de 5 MW	1,4
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade entre 2 e 5 MW	1,6
Caldeiras de tubos de água e de tubos de fumo com capacidade abaixo de 2 MW	2,0
Caldeiras de refractário, caldeiras de tubos de fumo com topo seco e caldeiras com soleira de refractário	3,0
Caldeiras de água quente em ferro fundido	4,5

Figura 4-5 Perdas por radiação, convecção e outras não contabilizadas de acordo com a potencia nominal da caldeira (FONTE: [11])

- **Perdas por purga da caldeira**

Estas perdas podem ser calculadas a partir da seguinte fórmula [11]:

$$P_{purga} = \frac{(T_p - T_{H2O}) \times \%p \times (100 - EP)}{(T_p - T_{H2O}) \times \%p + (100 - EP) \times (660 - T_{H2O})} \quad (9)$$

T_p = temperatura da purga;

T_{H2O} = temperatura da água de alimentação da caldeira;

$\%p$ = % da purga em relação ao total da água de alimentação da caldeira;

EP = somatório de todas as outras perdas referidas nos pontos anteriores;

Todos os valores necessários para a obtenção deste resultado são conhecidos (tendo todos já sido referenciados ao longo desta dissertação).

Então:

$$P_{purga} = \frac{(170 - 93) \times 3,33 \times [100 - (18,19 + 1,6)]}{(170 - 93) \times 3,33 + [100 - (18,19 + 1,6)] \times (660 - 93)} = 0,45\%$$

Retomando a equação (6), procede-se ao cálculo do rendimento da caldeira.

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimento da caldeira} &= \\
 &100[\%] - (\text{Perdas purga} + \text{Perdas por radiação} + \text{Perdas na chaminé}) \\
 &= 100 - (18,19 + 1,60 + 0,45) = \mathbf{79,76\%}
 \end{aligned}$$

Na Tabela 4-7, apresentam-se os valores das perdas, obtidos por hora de funcionamento, para o ano de 2020.

Tabela 4-7 Distribuição energética por hora de funcionamento na caldeira

Consumo de fuelóleo [MJ/h]	Energia associada aos gases de combustão [MJ/h]	Energia disponível [MJ/h]	Energia associada às outras perdas [MJ/h]	Energia útil, transferida para a água [MJ/h]
3142,17	571,43	2 570,74	64,41	2 506,33

Na Figura 4-6 apresenta-se um diagrama de *Sankey* que representa os resultados obtidos na Tabela 4-7.

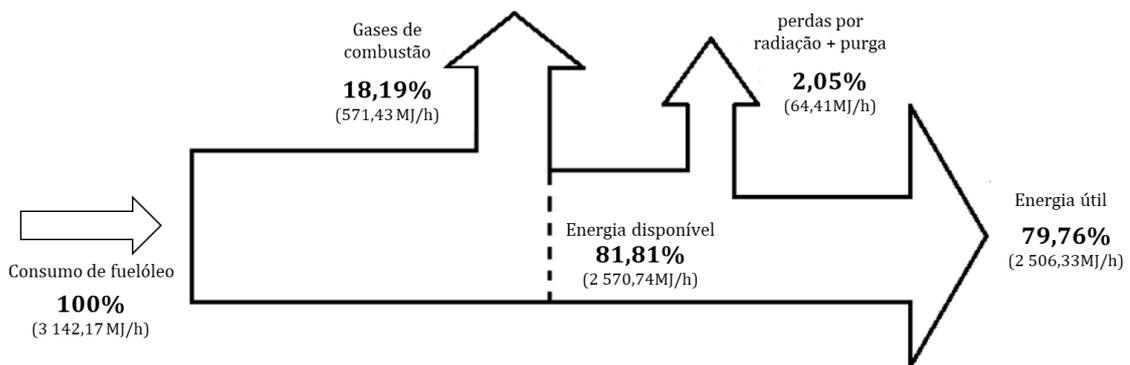


Figura 4-6 Diagrama de *Sankey* – Caldeira para o ano de 2020

Tendo em conta os dados apresentados verifica-se que a caldeira está a trabalhar com uma eficiência térmica que ronda os 79,76%, o que representa uma eficiência bastante baixa, já que caldeiras como esta, devem apresentar um rendimento maior que 90%.

As perdas energéticas associadas aos gases de combustão, (perdas pela chaminé) são significativas, correspondendo a cerca de 18,19% da energia total consumida. Constituindo, assim, a maior perda de energia da caldeira.

Já o somatório das perdas, com a purga inferior da caldeira, com radiação, convecção, correspondem a 2,05%. Estudam-se, nos capítulos seguintes maneiras de diminuir estas perdas e assim aproximar a eficiência da caldeira de valores mais admissíveis.

4.2. Sistema de produção de ar comprimido

Na instalação existem 2 centrais de ar comprimido, responsáveis por comprimir o ar que é distribuído na fábrica ao longo de 3 linhas independentes entre si.

A primeira linha utiliza ar a 14 bar, e é responsável por levar ar comprimido às prensas dos pneus de trator/industriais. A segunda linha trata de comprimir o ar até 12 bar, e é responsável por levar ar comprimido a todas as outras prensas existentes na instalação. Tanto a primeira como a segunda linha saem da central de ar comprimido nº1, encontrando-se esta num compartimento no interior da fábrica.

Já o ar na terceira linha é comprimido até os 9 bar e posteriormente utilizado nos autoclaves e em diferentes equipamentos distribuídos pela fábrica. Esta linha sai da central de ar comprimido número 2, que se encontra no exterior da fábrica. O esquema das duas centrais de ar comprimido encontra-se no Apêndice M. Todos os compressores da fábrica funcionam em regime carga plena/vazio.

Para além dos compressores, as linhas possuem um reservatório que têm a função de acumular o ar. Isto amortece as variações de pressão na rede de distribuição, possibilita o funcionamento mais equilibrado dos compressores e, adicionalmente, por convecção natural arrefece o ar comprimido, devido à grande área do depósito exposta ao meio ambiente, ocorrendo a remoção dos condensados resultantes através de um purgador, localizado na parte inferior deste.

Na Tabela 4-8 e Tabela 4-9 encontram-se resumidas, as características dos vários compressores e dos reservatórios utilizados.

Tabela 4-8 - Características dos compressores utilizados

Central ar comprimido	Linha	Equipamento	Tipo	Regime	Pot. Motor (kW)	Pressão máx. (bar g)	Ano
1	1	Compressor 1	Pistão lubrificado	Carga/ Vazio	11	15	1997
		Compressor 2	Pistão lubrificado	Carga/ Vazio	11	15	1997
1	2	Compressor 3	Parafuso	Carga/ Vazio	50	13	1988
2	3	Compressor 4	Parafuso	Carga/ Vazio	75	10	1991

Tabela 4-9 – Características dos reservatórios de ar comprimido utilizados

Central ar comprimido	Linha	Equipamento	Capacidade (m ³)	Timbre (bar)	Ano
1	1	Reservatório 1	0,5	20	1988
1	2	Reservatório 2	1	14	1987
2	3	Reservatório 3	1	10	1998

5. PERDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO VAPOR

Através da visita à instalação conclui-se, logo, que existiriam grandes perdas de energia no sistema de distribuição de vapor. No presente capítulo vai efetuar-se o cálculo do valor destas perdas e posteriormente a aferição dos custos anuais que estas geram. Estes valores vão ser obtidos para o ano de 2020 e para um ano típico de 2350 horas de funcionamento (correspondendo este valor, à média anual de horas de funcionamento da instalação). Utiliza-se, nestes cálculos, o preço mais atual do fuelóleo (0,422€/kg, correspondendo este ao preço médio de 2020, tal como mostrado no Apêndice B).

5.1. Perdas na linha de distribuição de vapor

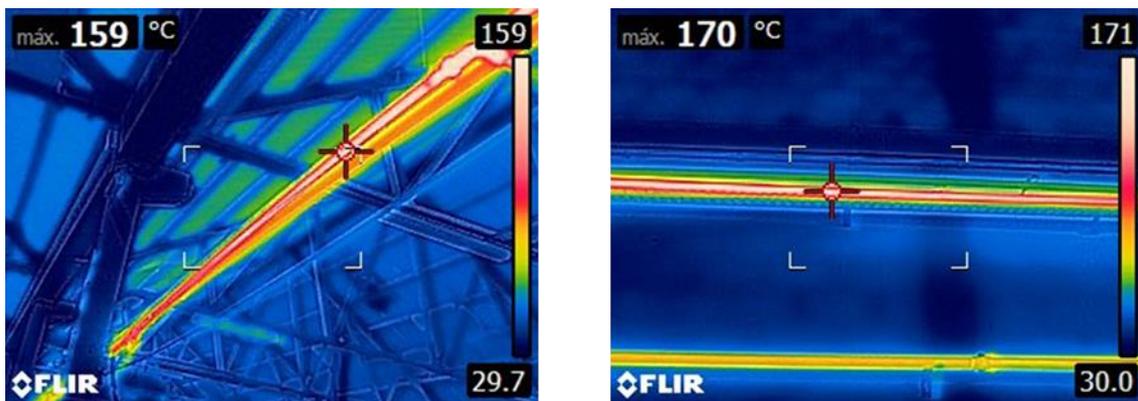


Figura 5-1 - Tubos de distribuição da linha de 6 bar e 8 bar, respetivamente (câmara termográfica)

Com recurso às fotografias obtidas pela câmara termográfica, identifica-se que a temperatura dos tubos de distribuição de vapor. Verificou-se que os que transportam o vapor a 6 bar de pressão estavam a 159°C e os que se transportavam vapor a 8 bar, encontravam-se a 170°C, de acordo com o esperado.

Estes tubos não estão isolados termicamente o que origina grandes perdas de energia. Sabendo isto, vão se contabilizar estas perdas, tanto de ponto de vista energético como monetário.

A energia é perdida pelas superfícies exteriores dos tubos para o meio envolvente. Esta transferência de calor ocorre por convecção e por radiação. Assim a taxa de energia sob a forma de calor transferida através das paredes, por metro de tubo (Q'_{tubos}) resulta do somatório da taxa de calor perdida por convecção ($Q'_{convecção}$) e por radiação ($Q'_{radiação}$), ambas por metro:

$$\dot{Q}'_{tubos} = \dot{Q}'_{convecção} + \dot{Q}'_{radiação} \quad (10)$$

Em que:

- $\dot{Q}'_{convecção} = h \times \text{perímetro} \times \Delta T$ (11)

Para se calcular a transferência de calor por convecção, por metro, recorreu-se à lei de Newton do arrefecimento, mostrada em na equação (11). Nesta, utiliza-se o perímetro exterior da secção transversal do tubo, ΔT (refere-se à diferença de temperaturas entre a superfície e o ar, que nestes está a 25°C e h , que representa o coeficiente de transferência de calor por convecção. Este depende de muitas variáveis, tais como, a geometria da superfície, as propriedades do fluido, a velocidade do escoamento e a natureza do movimento do fluido. É ainda importante referir que, por uma questão de simplificação, nestes cálculos se assumiu que todos os tubos se encontram na horizontal. Esta assunção foi feita pois a o comprimento de tubo na vertical é muito menor do que o comprimento de tubo que se encontra na horizontal. Ou seja, esta simplificação origina um erro mínimo.

- $\dot{Q}'_{radiação} = \varepsilon \times \sigma \times \text{perímetro} \times (T_s^4 - T_\alpha^4)$ (12)

Através da lei de Stefan- Boltzmann (12), determina-se o valor da energia transferida por radiação pela superfície dos tubos. Onde, ε representa emissividade da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann, T_s e T_r refere-se respetivamente, à temperatura absoluta da superfície emissora (superfície do tubo) e recetora (paredes da instalação). Utiliza-se novamente o perímetro exterior da secção transversal, para obter os valores de transferência de calor, por metro.

Na Tabela 5-1 mostram-se os valores das respetivas perdas energéticas pela superfície dos tubos, por metro.

Tabela 5-1 - Perdas energéticas através da superfície dos tubos de distribuição de vapor por metro

T_{tubo} [°C]	159°C	170°C
$\dot{Q}'_{convecção}$ [W/m]	161,92	178,09
$\dot{Q}'_{radiação}$ [W/m]	185,44	210,81
$\dot{Q}'_{total\ tubo}$ [W/m]	347,36	388,89

As várias linhas a 6 bar, têm um total de 250m de comprimento, já as linhas a 8 bar têm um total de 45m de comprimento.

Então:

$$\dot{Q}_{total\ tubo\ s/isol} = 347,36 \times 250 + 388,89 \times 45 = 104\ 340,05W$$

Faz-se a conversão de W/ para kJ/h,

$$\dot{Q}_{total\ tubo\ s/isol} = 375\ 624,18kJ/h$$

Tabela 5-2 - Cálculo do custo das perdas de energia através da linha de distribuição

	Ano típico	2020
Número de horas de trabalho anuais [h/ano]	2350	2060
Rendimento da caldeira (situação atual)	79,76%	79,76%
Quantidade de energia desperdiçada num ano [kJ]	$\frac{375\ 624,18 \times 2350}{0.7798} = 1\ 106\ 716\ 177,28$	970 142 691,57
Quantidade de energia desperdiçada num ano [MJ]	1 106 716,18	970 142,69
Combustível gasto num ano [kg]	$\frac{Q'}{PCI} = \frac{1\ 106\ 716,18}{41.61} = 26\ 597,36$	23 315,13
Preço unitário comb. [€/kg]	0,422	0,422
Valor gasto por ano [€]	$26\ 597,36 \times 0,422 = \mathbf{11\ 211,05}$	9827,56

5.2. Perdas através do depósito de recolha de condensados

Como referido, este depósito encontra-se no exterior das instalações e não tem qualquer tipo de isolamento, estando assim exposto às condições atmosféricas. Este facto lava à existência de grandes trocas de calor entre os condensados e exterior, principalmente em dias frios. Uma consequência desta perda de energia vai ser a diminuição de temperatura do líquido levando a que seja gasto mais combustível na caldeira para que a água seja vaporizada e o vapor produzido à pressão desejada.

Inicialmente foram retirados alguns dados referentes ao reservatório de água.

Tabela 5-3 - Características do depósito de recolha de condensados

Altura do reservatório [m]	2.50
Diâmetro do reservatório⁶ [m]	0.7135
Espessura do material [mm]	2
Temperatura média da água [°C]	85

Para calcular a energia perdida no depósito, segue-se a mesma estratégia utilizada no ponto 5.1. Assumiu-se uma temperatura exterior 16°C, correspondendo este à temperatura média anual de Alvaiázere [12]. Com isto obtiveram-se os resultados mostrados a seguir.

Tabela 5-4 - Perdas de calor pela superfície cilíndrica do depósito

$\dot{Q}_{convecção}$ [W]	2 051,95
$\dot{Q}_{radiação}$ [W]	2 041,69
$\dot{Q}_{total\ sup.lateral}$ [W]	4 093,64

⁶ Este valor foi calculado com base no perímetro medido.

Tabela 5-5 - Perdas de calor pelo topo do depósito

$\dot{Q}_{convecção}$ [W]	145,11
$\dot{Q}_{radiação}$ [W]	182,02
$\dot{Q}_{total\ sup.lateral}$ [W]	327,19

- $\dot{Q}_{total\ depósito} = \dot{Q}_{total\ sup.lateral} + 2 \times \dot{Q}_{total\ sup.lateral} = 4\ 748,02\ W$

Faz-se a conversão de W/m para kJ/h,

$$\dot{Q}_{total\ depósito\ s/isol} = 17\ 092,87\ kJ/h$$

Tabela 5-6 - Cálculo do custo das perdas de energia através o depósito de recolha de condensados

	Ano típico	2020
Número de horas de trabalho anuais [h/ano]	2350	2060
Rendimento da caldeira (situação atual)	79,76%	79,76%
Quantidade de energia desperdiçada num ano [kJ]	$\frac{17\ 092,87 \times 2350}{0.7976} = 50\ 361\ 389,79$	44 146 579,99
Quantidade de energia desperdiçada num ano [MJ]	50 361,39	44 146,58
Combustível gasto para compensar perdas num ano [kg]	$\frac{50\ 361,39}{41,61} = 1\ 210,32$	1 060,96
Preço unitário comb. [€/kg]	0,422	0,422
Valor das perdas por ano [€]	$1\ 210,32 \times 0,422 =$ 510,75	447,73

5.3. Perdas através das válvulas e flanges da zona dos coletores

Na instalação em estudo, junto aos coletores de vapor, existe um grande número de válvulas de corte e flanges que não se encontram isoladas. No Apêndice G mostram-se as imagens tiradas com o aparelho de termografia. É possível ver claramente as elevadas temperaturas das superfícies destes equipamentos, indicando que ocorrem grandes perdas de calor aqui.

Procedeu-se a contagem do número de válvulas de corte e de flanges não isoladas, na zona dos coletores, e à medição da sua respetiva temperatura. Construindo-se posteriormente a Tabela 5-7.

Tabela 5-7 - Válvulas de bloqueio e flanges não isoladas de acordo com o diâmetro da tubagem onde estão inseridas.

Temperatura (°C)	Diâmetro nominal (polegadas)	Número de válvulas	Número de flanges
170	1	1	0
	1 ^{1/2}	1	0
	2	1	0
	3	2	1
	4	2	0
158	1 ^{1/2}	6	0
	3	0	1
	4	1	1

Para efeitos de cálculo de perdas térmicas em acessórios devem-se considerar as seguintes equivalências [6]:

1 Válvula =1,0m linear para o mesmo diâmetro nominal

1 Flange =0,5m linear para o mesmo diâmetro nominal

Procedeu-se aos cálculos das perdas de calor, nas válvulas e flanges sem isolamento, obtendo-se o seguinte resultado:

$$\dot{Q}_{\text{perdido flanges+válvulas.}} = 8\,905,78\text{ W}$$

Faz-se a conversão de W/m para kJ/h,

$$\dot{Q}_{\text{perdido flanges+válvulas.}} = 32\,060,79\text{ kJ/h}$$

Tabela 5-8 - Cálculo do custo das perdas de energia através das válvulas e flanges da zona dos coletores

	Ano típico	2020
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350	2060
Rendimento da caldeira (situação atual)	79,76%	79,76%
Quantidade de energia desperdiçada num ano [kJ]	$\frac{32\,060,79 \times 2350}{0,7976} = 94\,461\,959,67$	82 804 951,88
Quantidade de energia desperdiçada num ano [MJ]	94 461,96	84 804,95
Combustível gasto para compensar perdas de um ano [kg]	$\frac{94\,461,96}{41,61} = 2\,270,17$	1 990,03
Preço unitário comb. [€/kg]	0.422	0,422
Valor das perdas por ano [€]	$2\,270,17 \times 0,422 = \mathbf{956,90}$	838,82

6. MEDIDAS PARA AUMENTO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com a análise energética detalhada da empresa, ficou-se a saber onde é que o potencial para a economia de energia é maior. Torna-se necessário, agora, averiguar e identificar quais as soluções que se podem vir a adotar e quais os benefícios energéticos que estas podem trazer.

Seguidamente, apresentam-se algumas propostas que visam a redução de custos energéticos da empresa. Estes valores, tomam como base, um ano típico de 2350 horas de funcionamento e vai-se utiliza-se, nestes cálculos, o preço mais atual, tanto do fuelóleo com da energia elétrica (0,422€/kg no caso do fuel, e 0,1339 €/kWh no caso da eletricidade, correspondendo estes ao preço médio de 2020, tal como mostrado no Apêndice B).

6.1. Medidas a aplicar na caldeira

6.1.1. Aplicação de um economizador

Para promover o aumento da eficiência na produção de vapor calcula-se quais as vantagens de instalar um economizador de calor. Este vai permitir o aproveitamento do calor dos gases de combustão para o pré-aquecimento da água de alimentação da mesma, fazendo com que os gases sejam libertados para a atmosfera a uma temperatura menor do que aconteceria sem a implementação deste. Assim, menos energia é desperdiçada. O pré-aquecimento da água vai fazer com que a potência de aquecimento para passar a água ao estado de vapor seja menor, pois esta entra na caldeira a uma temperatura maior.

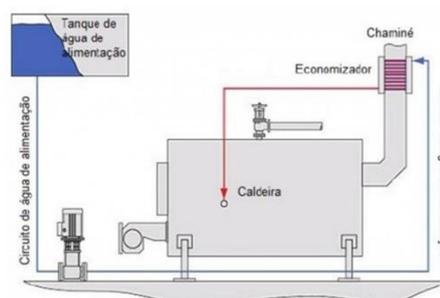


Figura 6-1 - Caldeira com um economizador (FONTE:[13])

Para alguém disto, a colocação de um economizador melhora as características da água, pois, o aumento da temperatura da água de alimentação, leva à ocorrência de menos choques térmicos

A temperatura aconselhada para a saída dos gases, pela chaminé, depende do tipo de combustível utilizado. Para fuelóleos com baixo teor de enxofre, como é o caso, a temperatura deve ser de 149°C, prevenindo-se assim as condensações e possível corrosão da chaminé [14]. É estimado, então, que os gases sejam arrefecidos dos 240°C atuais, para 149°C, depois da passagem pelo economizador.

Com este novo rendimento, obtêm-se os seguintes resultados:

Tabela 6-1 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação do economizador

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Temperatura atual dos gases de comb. [° C]	240
Temperatura dos gases de comb. Com o economizador [°C]	149
Novo rendimento da caldeira a vapor [%]	87,53
Quantidade de comb. poupado [kg]	15 752,01
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	15,66
Valor da redução GEE [tCO ₂ e]	47,56
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	6 639,63

Estima-se o preço de um economizador com as características necessárias mais a sua montagem, ronda os 20 000 € [15]. Então o período de retorno do investimento (*payback simples*):

$$\text{Payback Simples} = \frac{20\,000}{6\,639,63} = 3,01 \text{ anos} = 3 \text{ anos e } 1 \text{ meses}$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6%, estima-se, então, um Valor Atualizado Líquido (VAL) de 18 752,26 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 18% e um *payback* composto de 5,9 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

6.1.2. Regular o excesso de ar

Consoante o tipo de combustível queimado no gerador de vapor, o ponto ótimo de funcionamento também varia. Este encontra-se geralmente entre os valores que se indicam na Tabela 6-2 para os combustíveis mais correntes [11].

Tabela 6-2 - Composição ótima dos gases de combustão, para diferentes combustíveis (FONTE:[11])

Combustível	Gás Natural	GPL	Fuelóleo	Lenha
Excesso de ar de combustão	5 a 10 %	5 a 10 %	15 a 20 %	15 a 50%
Teor de CO ₂	11,4 - 10,9 %	13,1 - 12,6 %	13,7 – 13,2 %	17,5 – 13,3 %
Teor de O ₂	1,1 - 2,1 %	1,1 - 2,1 %	2,9 – 3,6 %	2,9 – 7,2 %
Teor de CO	< 200-300 ppm	< 200-300 ppm	0%	0%

O excesso de ar típico utilizado, nas reações de combustão envolvendo fuelóleo varia entre os 15% e os 20 %. Atualmente a reação de combustão que ocorre na caleira apresenta cerca de 123,53% de excesso de ar (como visto no ponto 4.1.1.2), correspondendo isto a 12% de O₂. Propõe-se a redução do excesso de ar para 19,17% o que equivale a cerca de 3,6% de O₂.

Para se fazer esta redução, bastaria alterar a quantidade de ar enviado pelo ventilador para câmara de combustão, contudo, esta redução poderá não ser possível. Pois, tal como mostra a Figura 4-4, poderá ocorrer um aumento das emissões de CO para níveis não permitidos.

Muito provavelmente, na situação atual está-se a trabalhar com uma quantidade tão elevada de ar, para se poder aproximar dos limites impostos, para as emissões CO. Então, se não for possível simplesmente alterando a quantidade de ar fornecido a reação de combustão, pelo ventilador, será necessário substituir-se o queimador.

Reduzindo o excesso de ar para 19,17%, espera-se ter 3,6% de O₂ e 0% de CO, nos gases de combustão. Esta redução gera as poupanças mostradas na Tabela 6-3.

Tabela 6-3 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da afinação do excesso de ar

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Temperatura atual dos gases de comb. [° C]	240
Nova percentagem de excesso de ar [%]	19,17
Novo rendimento da caldeira a vapor [%]	87,74
Quantidade de comb. poupado [kg]	16 140,07
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	16,04
Valor da redução GEE [tCO ₂ e]	48,73
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	6 803,20

Caso a alteração possa ser realizada sem necessidade de substituição do queimador (o que se acha muito difícil de poder ser feito), está alteração não tem nenhum custo associado.

Contudo, poderá ser necessário a compra de um queimador novo. Utiliza-se como exemplo, o queimador TBL 210 P da *Baltur*, reunindo estes todas as características necessárias para a sua implementação no sistema existente, tendo um preço que ronda os 13 000 €. Então o período de retorno do investimento (*payback simples*):

$$Payback\ Simple = \frac{13\ 000}{6\ 803,20} = 1,91\ anos = 1\ anos\ e\ 11\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6%, estima-se, então, um Valor Atualizado Líquido (VAL) de 37 072,14 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 52% e um *payback* composto de 2,1 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

6.1.3. Aplicando simultaneamente as medidas propostas em 6.1.1. e 6.1.2.

Os cálculos necessários para se obter o novo valor de rendimento da caldeira são apresentados no Apêndice L.

Tabela 6-4 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação das medidas 6.1.1. e 6.1.2.

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Temperatura atual dos gases de comb. [° C]	240
Temperatura dos gases de comb. com o economizador [°C]	149
Nova percentagem de excesso de ar [%]	19,17
Novo rendimento da caldeira a vapor [%]	92,11
Quantidade de comb. poupado [kg]	23 800,63
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	23,66
Valor da redução GEE [tCO ₂ e]	71,86
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	10 032,20

Assumindo, novamente, a necessidade de substituir o queimador:

$$Payback\ Simple = \frac{(20\ 000 + 13000)}{10\ 032,20} = 3,29\text{anos} = 3\ \text{anos e 4 mes}$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6%, estima-se, então, um Valor Atualizado Líquido (VAL) de 40 837,87 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de 28% e um *payback* composto de 3,78 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

6.2. Medidas a aplicar no sistema de distribuição de vapor

Todas as medidas de eficiência mostradas partir deste ponto, assumem que as medidas mostradas no ponto 6.1.3 foram implementadas. Estando, então, a caldeira a trabalhar com um rendimento de 92,11%.

6.2.1. Implementar isolamento na linha de distribuição de vapor

O isolamento escolhido foi do tipo coquilha, constituído de fibras de lã de rocha com 30 milímetros de espessura, com uma massa volúmica de 100kg/m³ e revestido a alumínio. Apresenta uma condutibilidade térmica 0,054 W/m°C a 159°C e de 0,056 W/m°C a 170°C

Aplicando este, as perdas de energia reduzem-se para:

$$\dot{Q}_{total\ tubo\ c/isol} = 13\ 920,55\ W$$

Todos os cálculos relativos às perdas energéticas através das paredes dos tubos de distribuição de vapor. Ou seja:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{poupada\ tubo} &= \dot{Q}_{total\ tubo\ s/isol} - \dot{Q}_{total\ tubo\ c/isol} = 104\ 340,05 - 13\ 920,55 \\ &= 90\ 419,50\ W\end{aligned}$$

Faz-se a conversão de W para kJ/h,

$$\dot{Q}_{poupada\ tubo} = 325\ 510,20\ kJ/h$$

Tabela 6-5 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamentos as linhas de distribuição de vapor

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Rendimento atual da caldeira a vapor [%]	92,11
Quantidade de energia poupada num ano [kJ/ano]	$\frac{325\,510,20 \times 2350}{0.9211} = 830\,473\,314,52$
Quantidade de energia poupada [MJ]	830 473,31
Combustível poupado [kg]	$\frac{830\,473,31}{41,61} = 19\,958,50$
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	19,84
Valor da redução GEE [tCO ₂]	60,26
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	$19\,958,50 \times 0,422 = 8\,412,71$

O custo do isolamento utilizado é de 10 €/m. Significa que o período necessário para recuperar o investimento é dado por:

$$Payback\ Simple = \frac{10 \times (250 + 45)}{8\,296,39} = 0.35\ anos = 5\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6 %, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 58 968,28 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 285 % e um *payback* composto de 5 meses, isto para um cálculo a 10 anos.

6.2.2. Implementar isolamento ao depósito atmosférico

Os cálculos seguintes fizeram-se tendo em conta que o isolamento térmico é realizado com projeção de espuma rígida de poliuretano de 100 mm com uma condutibilidade térmica de 0,028W/m°C e revestido com chapa de alumínio.

$$\dot{Q}_{total\ depósito\ c/isol} = 678,22\ W$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{poupada\ depósito} &= \dot{Q}_{depósito\ s/isol} - \dot{Q}_{depósito\ c/isol} = 4\ 748,02 - 678,22 \\ &= 4\ 069,80\ W \end{aligned}$$

Faz-se a conversão de W para kJ/h

$$\dot{Q}_{poupada} = 14\ 651,26\ kJ/h$$

Tabela 6-6 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação do isolamento do depósito de recolha de condensados

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Rendimento da caldeira a vapor	92.11
Quantidade de energia poupada por metro [kJ]	37 379 730,29
Quantidade de energia poupada [MJ]	37 379,73
Combustível poupado kg]	$\frac{37\ 379,73}{41.61} = 898,34$
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	0,89
Valor da redução GEE [tCO _{2e}]	2,71
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	$898,34 \times 0,422 = 379,09$

O custo estimado para a aplicação de isolamento no depósito é de cerca de 500€.

$$Payback\ Simples = \frac{500}{379,09} = 1,32\ anos = 1\ ano\ e\ 4\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6%, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 2 290,1 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 76% e um *payback* composto de 1,42 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

6.2.3. Implementar isolamento amovível as válvulas e flanges dos coletores de vapor

Na tentativa de reduzir as perdas de calor poder-se-á isolar também todas as válvulas e flanges existentes na zona dos coletores de valor, pois como já visto no ponto 5.3, neste ocorre grande desperdício de calor e consequentemente perdas de dinheiro. No entanto, aqui não se poderá utilizar isolamento convencional, pois caso exista uma fuga de vapor nestes acessórios ou qualquer outro problema, este deve ser facilmente desmontado e possa ser recolocado quando este estiver solucionado. Devera-se então utilizar um isolamento amovível, também vulgarmente chamado camisas de isolamento.

Para melhor compreender o funcionamento desta entrou-se em contacto com a empresa *EWEN*. Esta projeta e fábrica “camisas” de isolamento térmico flexíveis de alta qualidade, para qualquer tipo de equipamento industrial.



Figura 6-2 - Válvulas industriais com isolamento do tipo "camisa" aplicado (FONTE:[16])

Foi nos referido pelo fabricante deste tipo de isolamentos que as reduções típicas das perdas de energia rondam os 92% com a utilização deste isolamento. Sabendo isto e com o que já foi apresentado no ponto 5.3, podemos calcular a energia poupada com a implementação destas “camisas”, sendo esta:

$$\dot{Q}_{\text{poupado c/ camisas}} = \dot{Q}_{\text{perdido flanges+válvulas}} \times 0,92 = 8\,905.78 \times 0.92 = 8\,193,31\,W$$

Faz-se a conversão de W para kJ/h

$$\dot{Q}_{poupada\ c/camisas} = 29\ 495,93\ kJ/h$$

Tabela 6-7 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamento nas válvulas de flages na zona dos coletores

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h]	2350
Rendimento da caldeira a vapor [%]	92,11
Quantidade de energia poupada [kJ]	75 252 882,76
Quantidade de energia poupada [MJ]	75 252,88
Combustível poupado [kg]	$\frac{75\ 252,88}{41,61} = 1\ 808,53$
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	1,80
Valor da redução GEE [tCO _{2e}]	5,46
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€/ano]	$1\ 808,53 \times 0,422 = 762,31$

O custo estimado para a aplicação deste isolamento é de 800€.

$$Payback\ Simple = \frac{800}{7562,31} = 1,05\ anos = 1\ ano\ e\ 1\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6 %, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 4 810,7 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 95 % e um *payback* composto de 1,12 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

No entanto poderá ainda proceder-se a implementação das “camisas” gradualmente, se esta opção for tomada deve começar-se por aplicar isolamento as válvulas

e flanges de maior tamanho e mais quentes, pois é nestas onde as perdas são maiores e vai ser nestas também onde a sua implementação gera um período de retorno mais curto.

6.3. Reparação das fugas na rede de ar comprimido

Um dos problemas mais comuns das redes de distribuição de ar comprimido são as fugas. Sabendo isto, foram efetuados testes às linhas de pressão um e dois, para assim quantificar o ar comprimido que é perdido através de fugas e consequentemente a energia que é desperdiçada através delas. Devido a problemas técnicos, não foi possível testar a linha de pressão três.

Os testes foram realizados durante a noite. Nestes foi acionado cada compressor individualmente, estando as diversas válvulas de seccionamento da linha aberta, de modo a que toda esta se encontrasse pressurizada. Assim, visto o ar não estar a ser utilizado no processo industrial, o consumo verificado durante as medições corresponde às fugas de ar ao logo de cada linha de distribuição. De referir ainda, que no ensaio da linha 1 apenas se utilizou um dos compressores presentes nesta. O funcionamento dos compressores foi monitorizado através de um analisador de energia (Chauvin Arnoux Model PEL103). Tendo sido as leituras efetuadas a cada 1 segundo.

Na Figura 6-3 é apresentado um excerto da medição da potência elétrica instantânea consumida durante o teste a linha de distribuição nº1. Já na Figura 6-4 é mostrado o consumo de energia para o mesmo intervalo de tempo. Tendo-se obtidos gráficos semelhantes no teste da linha de pressão dois.

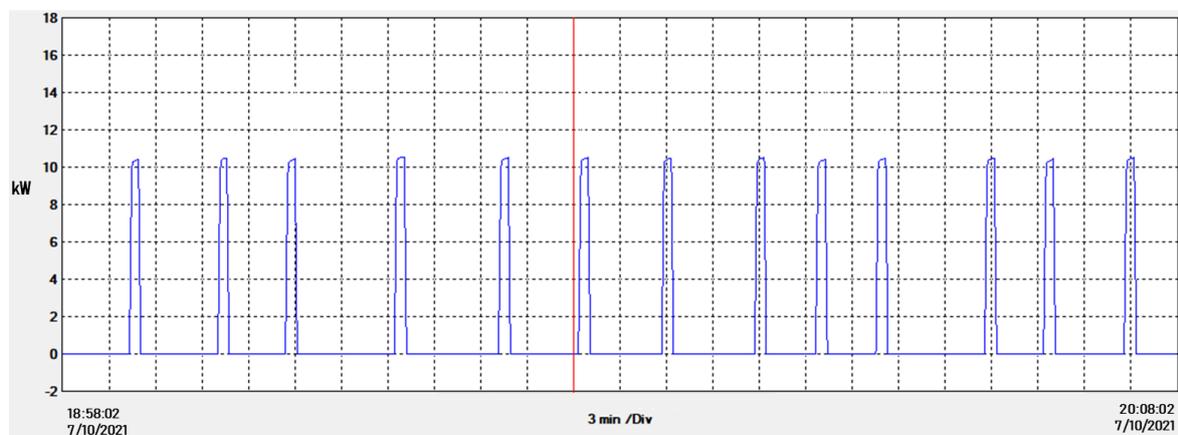


Figura 6-3 - Potência elétrica instantânea medida no compressor n.º 1

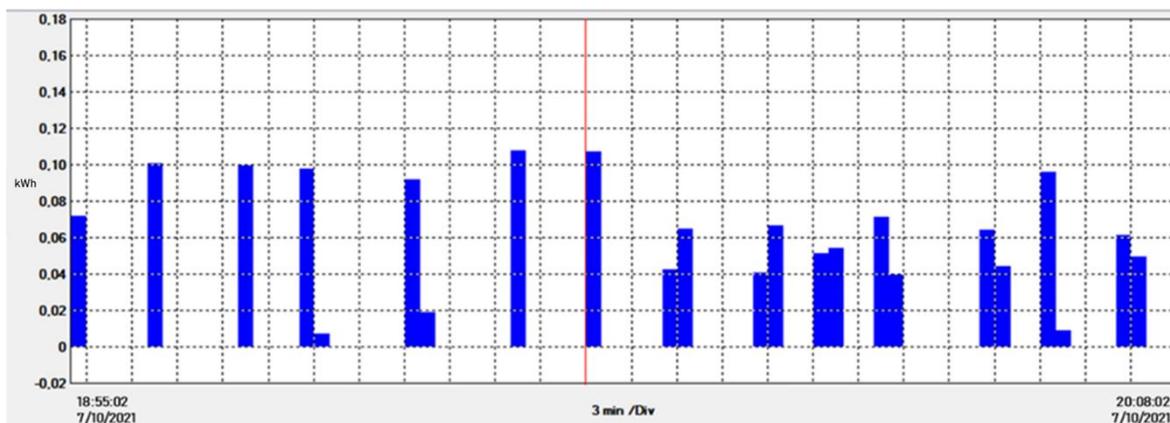


Figura 6-4 – Energia consumida durante o ensaio pelo compressor nº1, em intervalos de 1 hora

Constata-se que o compressor trabalha em intervalos de tempo curtos, pois, após a sua paragem o reservatório de ar garante, durante alguns minutos, o fornecimento de ar à linha, até ao momento em que a pressão atinge o *setpoint* inferior, voltando este a ser acionado.

Feitos os ensaios aos dois compressores, fez-se a média do valor horário de energia consumida por estes, durante o respetivo ensaio, estando os valores obtidos na Tabela 6-8. Utilizando-se esse como valor de referência para a energia horaria perdida nas fugas, estimou-se o consumo anual de energia resultante destas, nas diferentes linhas.

Tabela 6-8 – Estimativa do custo anual das fugas de ar comprimido, da linha 1 e 2

		Linha nº1	Linha nº2	Total
Potencia média das fugas	[kW]	1,14	12,58	13,72
Horas de funcionamento	[h/ano]	2350		
Consumo energia anual	[kWh/ano]	2 679,08	29 567,50	32 246,58
	[MWh/ano]	2,68	29,57	32,25
Energia primária	[tep/ano]	0,58	6,36	6,94
Emissões de GEE	[tCO ₂ e/ano]	1,26	13,90	15,16
Custos energéticos	[€/ano]	358,73	3 959,09	4 317,82

Das fugas, nestas duas linhas de pressão, resulta num desperdício de energia elétrica de 32,25 MWh/ano, equivalente a 6,94 tep/ano em energia primária. Tal traduz-se

num custo de 4 317,82 €/ano na fatura energética. Ou seja, o consumo elétrico associado às fugas de ar existentes ao longo da rede representa cerca de 10% do consumo total de eletricidade do ano de 2020, valor extremamente elevado.

Considera-se alcançável uma diminuição de 50% das fugas, obtendo-se assim as seguintes poupanças:

Tabela 6-9 – Poupanças obtidas através a redução em 50% das fugas de ar

	kWh/ ano	Tep/ano	€/ano	tCO2e/ano
Reduzindo 50% das fugas existentes	16 123,29	3,47	2 158,91	7,58

Contudo, não foi possível estimar, com os dados recolhidos durante o desenvolvimento deste trabalho, os custos associados a implementação desta medida. Apesar disto, esta continua a ser uma medida de extrema importância, e que trás grandes benefícios à empresa.

6.4. Outras medidas

6.4.1. Proceder a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por lâmpadas LED

O pavilhão industrial é iluminado através de luminárias duplas com lâmpadas fluorescentes e balastros ferromagnéticos. Propõe-se a substituição das lâmpadas fluorescentes por tubos LED. Nas tabelas seguintes mostra-se as características das lâmpadas existente e a proposta e é apresentando o resumo das economias estimadas com a substituição das mesmas.

Estima-se o número de horas de trabalho para as lâmpadas com sendo 75% do tempo médio anual de funcionamento da instalação fabril. Isto, pois, haverá dias que a iluminação natural suprime as necessidades parcialmente ou mesmo totalmente.

Tabela 6-10 - Caracterização da iluminação existente e proposta

Iluminação Existente		
Tipo		Fluorescente tubular
Potência da lâmpada	[W]	58
Perdas balastro	[W]	12
Nº de lâmpadas	[unid.]	310
Horas de trabalho	[h]	1763
Consumo elétrico	[MWh/ano]	38,26
Custo da eletricidade	[€/MWh]	133,90
Custo elétrico anual	[€/ano]	5 123
Iluminação Proposta		
Tipo		LED
Potência da lâmpada	[W]	25
Consumo elétrico	[MWh/ano]	13,66
Custo elétrico anual	[€/ano]	1 830

É importante referir que a instalação de lâmpadas LED dispensa a utilização de balastos e dos arrancadores, no caso de balastos ferromagnéticos.

Tabela 6-11 - Economias previstas com a substituição da iluminação

		Poupanças Estimadas
Poupança	[%]	64,28
Benefício energético	[MWh/ano]	24,60
	[MJ]	88 560
Energia primária equivalente poupada por ano	[tep/ano]	5,29
Emissões evitadas	[tCO ₂ /ano]	11,56
Benefício económico	[€/ano]	3 293
Investimento	[€]	4 650 ⁷
Período de Retorno Simples	[anos]	1,41

⁷ Através de uma pesquisa feita, à data da realização do trabalho, o preço médio de uma lâmpada com as características necessárias, é de 15 €.

Assumindo um custo de oportunidade de 6%, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 19 586,8 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 70% e um *payback* composto de 1,50 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

Contudo, devem-se realizar simulações luminotécnicas através de programas informáticos apropriados para validar estas substituições, ou então, efetuar medições da iluminância antes e depois da substituição para verificar se o requisito de iluminância para este local é salvaguardado.

6.4.2. Implementação de isolamento da porta da caldeira

Como mostrado na Figura G.0-2 as portas da caldeira encontram-se a uma temperatura bastante elevada, levando a que ocorram ali perdas térmicas. De forma a minimizar estas ao máximo, aconselha-se a implementar isolamento sobre estas. Este isolamento, tal como o que foi aconselhado aplicar sobre as válvulas, deverá ser removível. Visto que estas portas têm de ser abertas sempre que se procede à limpeza da caldeira.

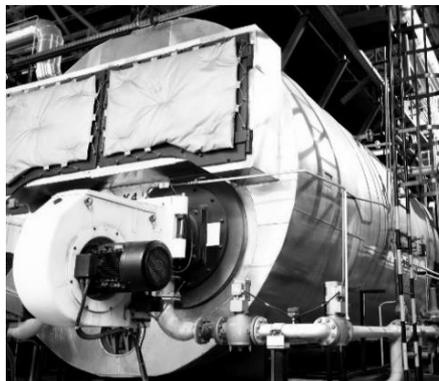


Figura 6-5 – Exemplo de isolamento aplicado nas portas de uma caldeira [Fonte: [14]]

Procedeu-se aos cálculos das perdas de calor, através das portas da caldeira na situação atual. Assumiu-se que a temperatura média das portas era de 170°C.

Obtendo-se o seguinte resultado:

$$\dot{Q}_{\text{perdido portas s/ isol.}} = 1\,644,97\text{ W}$$

Como já dito anteriormente, com este tipo de isolamento amovível obtêm-se reduções típicas de 92% nas perdas de energia.

Então:

$$\dot{Q}_{poupado\ portas\ c/\ isol.} = 0,92 \times 1\ 644,97 = 1\ 513,37\ W$$

Faz-se a conversão de W para kJ/h,

$$\dot{Q}_{poupado\ portas\ c/\ isol} = 5\ 448,14\ kJ/h$$

Tabela 6-12 - Cálculo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamentos nas portas da caldeira

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h/ano]	2350
Rendimento da caldeira a vapor [%]	92,11
Quantidade de energia poupada [MJ/ano]	13 899,83
Combustível poupado [kg]	$\frac{13\ 899,83}{41,61} = 334,05$
Energia primária equivalente poupada por ano [tep]	0,33
Valor da redução GEE [tCO ₂ e]	1,00
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0,422
Valor poupado por ano [€]	$334,05 \times 0,422 = 140,97$

O custo estimado para a aplicação deste isolamento é de 225€.

$$Payback\ Simples = \frac{225}{140,97} = 1,60\ anos = 1\ ano\ e\ 8\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6 %, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 812,55 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 62% e um *payback* composto de 1,73 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

6.4.3. Implementar isolamento amovível nas prensas de vulcanização (Caso ilustrativo)

Nas prensas de vulcanização ocorrem grandes perdas de energia, isto é facilmente observado nas imagens termográficas. Numa tentativa de diminuir estas perdas estudou-se a possibilidade de aplicar isolamento nestas. Aqui, o isolamento teria de ser amovível, assim como o referido no caso das válvulas e flanges, pois este teria de ser colocado antes da prensa iniciar a vulcanização e retirado no fim deste processo, antes de retirar o pneu. Para além de que este teria de ser feito a medida para as diferentes prensas.

Novamente contactou-se com a *Ewen* para perguntar qual a viabilidade deste tipo de isolamento. Eles disseram que era possível fazer isto, dando vários exemplos de outros projetos onde fizeram isolamentos a medida para várias aplicações.

Na tentativa de ver qual a sua viabilidade do ponto de vista energético, procedeu-se aos cálculos das poupanças energéticas para um caso ilustrativo. Assumiu-se uma prensa com diâmetro de 1 m e uma altura de 0,5 m. E para simplificar, aproximou-se a geometria da prensa à de um cilindro.



Figura 6-6 – Prensa de vulcanização

Os resultados obtidos foram:

Tabela 6-13 - Cálculo ilustrativo do valor poupado, por ano, através da implementação de isolamento numa prensa com diâmetro de 1 m e uma altura de 0,5 m

	Ano típico
Número de horas de trabalho anuais [h/ano]	2350
Tª da superfície da prensa. [º C]	159

Novo rendimento da caldeira a vapor [%]	92,11
Energia desperdiçada [W]	4 813,71
Combustível gasto [kg]	1 062,54
Preço unitário comb. [€/kg] (2020)	0.422
Valor gasto por ano [€]	447,87
Aplicando isolamento	
Valor poupado [€]	418,49

De acordo com a empresa Ewen o custo por m² de isolamento tipo “camisa”, feito a medida, pode variar entre os 100 e 300 €, estando este dependente da aplicação que o isolamento vai ter e da complexidade do mesmo.

Assumindo um preço de 300 €/m² e que $A_{superfície\ do\ cilindro} = 1.96\ m^2 \approx 2\ m^2$

$$Payback\ Simples = \frac{300 \times 2}{418,49} = 1.43\ anos = 1\ ano\ e\ 6\ meses$$

Assumindo um custo de oportunidade de 6 %, estima-se um Valor Atualizado Líquido de 2 480,1 €, uma Taxa Interna de Rentabilidade de 69 % e um *payback* composto de 1,55 anos, isto para um cálculo a 10 anos.

As perdas serão cada vez maiores, quanto maiores forem as prensas, ou seja, o valor poupado com a aplicação do isolamento é também maior. É de esperar que no caso das prensas dos pneus de maior porte o período de retorno, nestes casos seja menor.

A desvantagem encontrada na aplicação desta medida, seria aumentar o número de etapas no processo de produção de um pneu. Pois as etapas normais acrescentar-se-ia o trabalho de colocar e retirar o isolamento. O que talvez pudesse diminuir a produtividade.

No fabrico deste isolamento teria ainda de se ter em atenção a facilidade de colocação e retirada deste, de modo a que não se aumente muito o tempo de produção do pneu.

Contudo, é necessário fazer um estudo mais aprofundado para ver a viabilidade desta medida, tanto no ponto de vista técnico, como num ponto de vista prático.

6.5. Resumo dos resultados

Na Tabela 6-14 está sintetizada a informação relativa a todas as medidas estudadas para a diminuição dos consumos de energia.

Tabela 6-14 – Totalidade das medidas estudadas para aumentar a eficiência energética da instalação

Medidas	Poupança anual												Investimento [€]	Payback simples [anos]
	Energia Elétrica				Fuelóleo				Total					
	[GJ]	[tep]	[tCO _{2e}]	[€]	[GJ]	[tep]	[tCO _{2e}]	[€]	[GJ]	[tep]	[tCO _{2e}]	[€]		
6.1.1.	0	0	0	0	655,44	15,66	47,56	6639,6	655,44	15,66	47,56	6639,6	20 000	3,01
6.1.2.	0	0	0	0	671,59	16,04	48,73	6803,2	671,59	16,04	48,73	6803,2	13 000	1,91
6.1.3.	0	0	0	0	990,34	23,66	71,86	10032,2	990,34	23,66	71,86	10032,2	33 000	3,29
6.2.1.	0	0	0	0	830,47	19,84	60,26	8412,7	830,47	19,84	60,26	8412,7	2 950	0,35
6.2.2.	0	0	0	0	37,38	0,89	2,71	379,1	37,38	0,89	2,71	379,1	500	1,32
6.2.3.	0	0	0	0	75,25	1,80	5,46	762,3	75,25	1,80	5,46	762,3	800	1,05
6.3.	58,04	3,47	7,58	2158,9	0	0	0	0	58,04	3,47	7,58	2158,9	-	-
6.4.1.	88,56	5,29	11,56	3293,0	0	0	0	0	88,56	5,29	11,56	3293	4 650	1,41
6.4.2.	0	0	0	0	13,90	0,33	1,00	141,0	13,90	0,33	1,00	141,0	225	1,60
Total	146,6	8,76	19,14	5451,9	1947,34	46,52	141,29	19727,3	2093,94	55,28	160,43	25179,2	42 125	1,67

Relativamente ao valor total, a medida 6.1.3 já engloba simultaneamente a medida 6.1.1 e 6.1.2, devido a isto, as respetivas poupanças destas últimas duas, não forma adicionadas ao total. Realça-se ainda a impossibilidade de estimar, os custos associados à implementação da medida 6.3. e a ausência da medida 6.4.3, visto ser necessário fazer um estudo mais aprofundado para saber a sua viabilidade de implementação.

A economia prevista na fatura energética anual ascende a mais de 25 179€, em que o investimento inicial necessário é de 42 125€. Resultando num período de retorno do investimento (*payback simples*) de 1,67 anos, valor (bastante reduzido). Salienta-se ainda que a economia poderá ser maior, visto prever-se um aumento dos preços, tanto da energia elétrica como do fuelóleo, nos próximos anos. São mostradas também nesta tabela, as reduções antecipadas de energia primária e de emissões de GEE, sendo estas de 55,28 tep e 160,43 tCO_{2e}, respetivamente.

Por último, mostra-se o valor dos indicadores energéticos esperados após a implementação das medidas de aumento de eficiência energética.

Tabela 6-15 – Redução previstas nos indicadores energéticos após a implementação das medidas de aumento de eficiência energética

		Consumo específico de energia (CEE) [kgep/unid.]	Relação entre o custo de energia e das vendas [%]
Valores atuais (2020)		17,03	5,91
Valores após implementação das medidas⁸		13,61	4,46
Redução	Absoluta	3,42	1,45
	Relativa	20,09%	24,39%

⁸ Utilizado o valor de produção do ano de 2020, assim como o valor das vendas

7. CONCLUSÃO

Com este trabalho, procedeu-se à avaliação e caracterização, extensiva e detalhada, das condições de utilização de energia numa instalação real, inserida no setor da recauchutagem de pneus em Portugal, através da execução de uma auditoria energética, bem como à elaboração de proposta de aumento de eficiência energética.

Para progredir nas diversas etapas da auditoria, foi necessária uma inspeção cuidadosa e compreensão clara do funcionamento dos principais equipamentos e aplicações consumidoras de energia existentes. Aliando estas informações à análise energética global foi possível concluir que a empresa Rechapal não é uma CIE, com um consumo referente ao ano de 2020 de 211,93 tep, inferior ao 500 tep/ano, por isso a adesão ao SGCIE por parte desta não é obrigatória. Este consumo energético traduziu-se num custo de 103.221,28 € correspondendo este a 49% energia elétrica e 51% energia térmica, esta última, gerada através da combustão de fuelóleo.

Conhecido o valor da produção anual de pneus, determinou-se o consumo específico da empresa sendo este de 17,03 kgep/unid., foi ainda calculada a relação entre o custo de energia e o valor das vendas, apresentado esta um valor de 5,91%, ambos são referentes ao ano de 2020.

Nesta análise verificaram-se grandes ineficiências na utilização da energia elétrica como no fuelóleo. Podendo dividir estas em 3 grupos, o primeiro diz respeito à baixa eficiência da reação de combustão na caldeira, o segundo o mau isolamento existente no sistema de distribuição de vapor e o terceiro com as fugas existentes no sistema de ar comprimido.

Estando as perdas energéticas assinaladas, calculou-se o custo associado a estas. Posteriormente, propuseram-se várias medidas para aumentar a eficiência do consumo de energia da instalação. Aplicando todas, espera-se obter uma redução de 55,28 tep, isto representa uma poupança anual de cerca de 25 179,2 € e uma redução de 20,09% no consumo específico. Salienta-se ainda que a poupança anual poderá vir a ser maior, visto prever-se um aumento nos próximos anos dos preços, tanto da energia elétrica como do fuelóleo. Para

por em prática estas medidas não necessários 42 125 € de investimento, tendo estas medidas um período de retorno médio, de aproximadamente 1,67 anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] European Commission, “Reference document on best available techniques for energy efficiency,” *Eur. Com.*, no. February, pp. 1–430, 2009, [Online]. Available: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/ENE_Adopted_02-2009.pdf.
- [2] “Enquadramento e Objectivos - SGCIE.” <https://sgcie.pt/sistema-de-gestao-dos-consumos-intensivos-de-energia/o-regulamento/enquadramento-e-objectivos/> (accessed Jun. 30, 2021).
- [3] “Kit testo 310 - Analisador de gases de combustão.” <https://www.testo.com/pt-PT/kit-testo-310/p/0563-3100> (accessed Jun. 07, 2021).
- [4] “Cámara termográfica FLIR E6, calibrado RS, -20 → +250 °C, resolución IR 160 x 120píxel, sin enfoque | RS Components.” <https://pt.rs-online.com/web/p/camaras-termograficas/9120254/> (accessed Jun. 07, 2021).
- [5] D.-G. de E. e Geologia, “Despacho nº17313, 2ªSérie - n.122,” *Diário da República*, pp. 27912–27913, 2008.
- [6] ADENE, *Manual de Auditorias Energéticas na Indústria*. 2019.
- [7] D. K. Rigby, “Management Tools an executive’s guide,” *Bain Co.*, p. 18, 2018.
- [8] “IAC: IAC Download Data.” <https://iac.university/download> (accessed Jun. 24, 2021).
- [9] Dr. Silke Krömer, C. A. Dr. Eckhard Kreipe, C. A. Dr. Diethelm Reichenbach, and C. A. Dr. Rainer Stark, “Life cycle assessment of a car tire,” *Cont. AG, P.O. Box 169, 30001 Hann. Ger.*, p. 24.
- [10] “Combustion Efficiency and Excess Air.” https://www.engineeringtoolbox.com/boiler-combustion-efficiency-d_271.html (accessed Sep. 04, 2021).
- [11] ADENE-Agência para a Energia, “Relatório Final de Acção de Promoção de Eficiência Energética em Caldeiras de Vapor e Termofluido,” *Plano Nac. Acção para a Eficiência Energética -Portugal Eficiência 2015*, 2010.
- [12] “Clima, condições meteorológicas e temperatura média por mês de Base Aérea de Monte Real (Portugal) - Weather Spark.” <https://pt.weatherspark.com/y/147666/Clima-característico-no-Base-Aérea-de->

-
- Monte-Real-Portugal-durante-o-ano#Figures-Temperature (accessed Jun. 28, 2021).
- [13] “Miscellaneous Boiler Types Economisers and Superheaters | Spirax Sarco.”
<https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/the-boiler-house/miscellaneous-boiler-types-economisers-and-superheaters> (accessed Jun. 06, 2021).
- [14] U.S. Department of Energy, “Use Feedwater Economizers for Waste Heat Recovery,” *Energy Effic. Renew. Energy*, 2012, [Online]. Available:
http://energy.gov/sites/prod/files/2014/05/f16/steam3_recovery.pdf.
- [15] M. Ragwitz, A. Herbst, S. Hirzel, M. Rehfeldt, M. Reuter, and J. Steinbach, “EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY Directorate C. 2 – New energy technologies, innovation and clean coal,” *Work Packag. 2*, no. March, 2016, [Online]. Available:
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/mapping-hc-final_report-wp2.pdf.
- [16] “e+Jacket.” <http://www.ewen-energy.com/en/jacket> (accessed Jun. 28, 2021).
- [17] “Páginas - Home.” <https://portal.sgcie.pt/Paginas/default.aspx> (accessed Oct. 04, 2021).
- [18] E. Stansfield and J. W. Sutherland, “Oxygen Bomb Calorimeter,” *Can. J. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 464–472, 1930, doi: 10.1139/cjr30-073.
- [19] CEN/TS 14918:2005, “SPÉCIFICATION TECHNIQUE CEN / TS 14918 Solid Biofuels - Method for the determination of calorific value,” 2005.

APÊNDICE A – FLUXOS DE ENERGIA DA INSTALAÇÃO

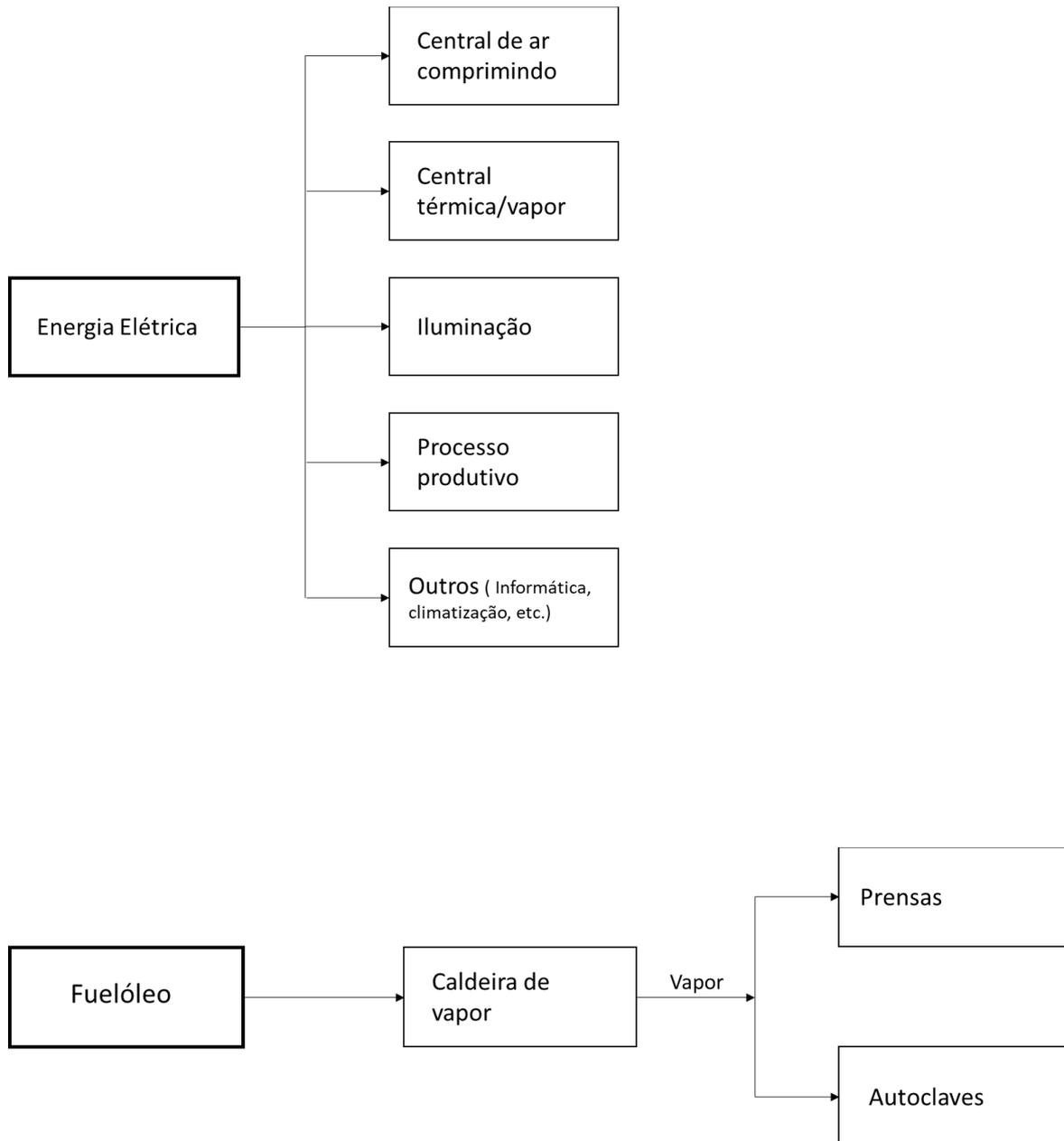


Figura A.1 – Diagrama dos fluxos de energia consumida na instalação

APÊNDICE B – DADOS DE CONSUMO DE ENERGIA DA EMPRESA (2018, 2019 E 2020)

Consumo de energia elétrica

Tabela B.0-1 - Consumo de energia elétrica referente aos anos de 2018, 2019 e 2020

	Vazio (kWh)	Ponta (kWh)	Cheias (kWh)	Super Vazio (kWh)	Total (kWh)	Fatura (€)	€/kWh	Total (MWh)	
2018	jan	1 767	793	28 935	815	32 310	4 816,41 €	0,1491	32,31
	fev	1 767	787	27 700	844	31 098	4 298,49 €	0,1382	31,1
	mar	2 136	1753	31 924	743	36 556	4 178,07 €	0,1143	36,56
	abr	1 984	9 589	22 571	697	34 841	4 812,45 €	0,1381	34,84
	mai	1 705	8 196	19 362	686	29 949	4 497,98 €	0,1502	29,95
	jun	1 455	5 726	13 387	442	22 848	4 706,11 €	0,2060	22,85
	jul	2 019	7 775	18 870	637	29 301	5 718,41 €	0,1952	29,3
	ago	1 670	5 507	13 860	600	21 637	4 393,23 €	0,2030	21,64
	set	1 739	9 793	24 264	814	36 610	6 795,51 €	0,1856	36,61
	out	1 295	8 922	20 486	652	31 354	6 246,34 €	0,1992	31,35
	nov	1 028	7 255	16 195	522	25 001	4 861,53 €	0,1945	25,00
	dez	DNF*	DNF	DNF	DNF	20 970	3 351,08 €	0,1598	20,97
	Média	1 688	6 009	21 596	677	30 052	4 955,24	0,1677	30,05
2019	jan	1 767	793	28 935	815	32 310	4 816,41 €	0,1491	32,31
	fev	1 767	787	27 700	844	31 098	4 298,49 €	0,1382	31,10
	mar	1 892	684	24 507	891	27 974	3 645,08 €	0,1303	27,97
	abr	1 686	8 085	19 831	660	30 262	5 074,78 €	0,1677	30,26
	mai	1 882	8 874	21 594	755	33 105	5 371,59 €	0,1623	33,11
	jun	1 613	7 121	16 690	646	26 070	4 356,88 €	0,1671	26,07
	jul	1 499	9 122	21 956	625	33 202	5 523,86 €	0,1664	33,20
	ago	1 144	4 319	10 776	511	16 750	2 852,95 €	0,1703	16,75
	set	1 536	9 101	21 270	666	32 573	5 076,95 €	0,1559	32,57
	out	1 682	8 286	25 411	782	36 161	5 436,98 €	0,1504	36,16
	nov	1 838	712	29 584	730	32 864	4 094,33 €	0,1246	32,86
	dez	1 636	822	30 541	657	33 656	4 004,20 €	0,1190	33,66
	Média	1 663	4 892	23 233	715	30 503	4 546,04€	0,1501	30,50

2020	jan	1 420	666	30 725	578	33 389	4 144,33 €	0,1241	33,39
	fev	1 379	576	25 921	633	28 509	3 221,88 €	0,1130	28,51
	mar	1 251	967	23 009	519	25 746	2 747,74 €	0,1067	25,75
	abr	926	4 373	10 449	425	16 173	2 026,19 €	0,1253	16,17
	mai	1 137	5 470	13 640	483	20 730	2 763,60 €	0,1333	20,73
	jun	1 420	6 641	16 372	520	24 953	3 546,98 €	0,1421	24,95
	jul	1 235	8 554	20 690	527	31 006	4 498,12 €	0,1451	31,01
	ago	835	3 812	9 214	430	14 291	2 302,60 €	0,1611	14,29
	set	1 143	8 811	20 745	546	31 245	4 894,85 €	0,1567	31,25
	out	1 189	6 699	21 907	535	30 330	4 363,54 €	0,1439	30,33
	nov	1 172	631	29 904	524	32 231	4 020,56 €	0,1247	32,23
	dez	1 452	562	25 898	490	28 402	3 723,84 €	0,1311	28,40
	Média	1 213	3 980	20 706	518	26 417	3 521,19 €	0,1339	26,42

* **Dados Não Fornecidos**

Consumo de fuelóleo

Tabela B.0-2 - Consumo de fuel referente a 2018

	Meses	Intervalo dias	t	t/dia	Preço (€)	€/t
2018	jan/18	31	20,92	0,67	7149,41	341,75
	fev/18	28	13,62	0,49	4201,63	308,49
	mar/18	31	5,96	0,19	1885,74	316,40
	abr/18	30	14,96	0,50	4953,10	331,09
	mai/18	31	11,54	0,37	4369,45	378,76
	jun/18	30	11,16	0,37	4228,50	378,76
	jul/18	31	10,86	0,35	4401,24	405,27
	ago/18	31	10,86	0,35	4401,24	405,27
	set/18	30	17,9	0,60	7483,91	418,10
	out/18	31	10,46	0,34	4636,20	443,23
	nov/18	30	10,77	0,36	4773,82	443,23
	dez/18	31	11,13	0,36	4932,95	443,23
Total		365	150,14	-	57 417,187	382,42

Tabela B.0-3 - Consumo de fuel referente a 2019

	Meses	Intervalo dias	t	t/dia	Preço (€)	€/t
2019	jan/19	31	16,20	0,52	5455,78	336,74
	fev/19	28	13,03	0,47	4673,88	358,75
	mar/19	31	17,44	0,56	6596,65	378,34
	abr/19	30	15,61	0,52	6352,35	406,97
	mai/19	31	17,13	0,55	7237,48	422,62
	jun/19	30	20,14	0,67	8919,00	442,96
	jul/19	31	11,86	0,38	5252,92	442,96
	ago/19	31	5,94	0,19	2632,48	442,96
	set/19	30	14,87	0,50	6588,96	442,96
	out/19	31	13,26	0,43	5873,25	442,96
	nov/19	30	16,73	0,56	7412,53	442,96
	dez/19	31	15,26	0,49	6757,52	442,96
Total		365	177,46	-	73 752,79	415,60

Tabela B.0-4 - Consumo de fuel referente a 2020

	Meses	Intervalo dias	Ton	Ton/dia	Preço (€)	€/t
2020	jan/20	31	19,3	0,62	8549,13	442,96
	fev/20	29	10,82	0,37	4792,83	442,96
	mar/20	31	12,48	0,40	5528,14	442,96
	abr/20	30	16,86	0,56	7468,31	442,96
	mai/20	31	7,7	0,25	3410,79	442,96
	jun/20	30	9,84	0,33	4358,73	442,96
	jul/20	31	10,78	0,35	4775,11	442,96
	ago/20	31	11,86	0,38	5253,51	442,96
	set/20	30	13,02	0,43	4611,77	354,26
	out/20	31	7,96	0,26	2698,44	339,00
	nov/20	30	12,12	0,40	4516,98	372,69
	dez/20	31	11,9	0,38	5003,31	420,45
Total		366	144,64	-	60 967,03	421,51

APÊNDICE C – PERÍODO HORÁRIO NA FATURAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PORTUGAL CONTINENTAL

Tabela C.0-1 - Ciclo semanal opcional para MAT, AT e MT em Portugal continental

Ciclo semanal opcional para MAT, AT e MT em Portugal continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	17.00/22.00 h	Ponta:	14.00/17.00 h
Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/17.00 h 22.00/24.00 h	Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/14.00 h 17.00/24.00 h
Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h	Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	10.30/12.30 h 17.30/22.30 h	Cheias:	10.00/13.30 h 19.30/23.00 h
Vazio normal:	00.00/03.00 h 07.00/10.30 h 12.30/17.30 h 22.30/24.00 h	Vazio normal:	00.00/03.30 h 07.30/10.00 h 13.30/19.30 h 23.00/24.00 h
Super vazio:	03.00/07.00 h	Super vazio:	03.30/07.30 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h
Super vazio:	04.00/08.00 h	Super vazio:	04.00/08.00 h

APÊNDICE D – DADOS DE PRODUÇÃO E VALOR DAS VENDAS (2018,2019 E 2020)

Tabela D.0-1 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2018

	Mês	Produção (nº pneus)	valor de vendas (€)
2018	jan/18	1 662	203 033,00
	fev/18	1 548	194 769,00
	mar/18	1 730	212 184,00
	abr/18	1 415	169 513,00
	mai/18	1 481	183 638,00
	jun/18	1 133	154 017,00
	jul/18	1 360	165 788,00
	ago/18	815	127 567,00
	set/18	1 255	158 315,00
	out/18	1 177	178 202,00
	nov/18	1 286	175 486,00
	dez/18	955	132 735,00

Tabela D.0-2 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2019

	Mês	Produção (nº pneus)	valor de vendas (€)
2019	jan/19	1 251	169 209,00
	fev/19	1 276	169 698,00
	mar/19	973	135 158,00
	abr/19	1 203	161 419,00
	mai/19	1 397	189 784,00
	jun/19	1 156	164 131,00
	jul/19	1 450	204 597,00
	ago/19	694	100 562,00
	set/19	1 558	208 271,00
	out/19	1 563	220 369,00
	nov/19	1 204	176 968,00
	dez/19	1 411	194 292,00

Tabela D.0-3 - Dados de produção e valor das vendas referentes a 2020

	Mês	Produção (nº pneus)	valor de vendas (€)
2020	jan/20	1 492	173 928,00
	fev/20	1 198	153 146,00
	mar/20	929	143 628,00
	abr/20	530	71 362,00
	mai/20	734	113 900,00
	jun/20	972	150 651,00
	jul/20	1 311	182 938,00
	ago/20	476	71 953,00
	set/20	1 326	191 882,00
	out/20	1 015	156 594,00
	nov/20	1 370	180 408,00
	dez/20	1 091	158 174,00

APÊNDICE E – DADOS BENCHMARKING

Tabela E.0-1 - Dados das empresas selecionadas para fazer o benchmarking

ID	SIC Code	Nº de funcionários	Produção anual [unidades]	Vendas [\$]	Principais Produtos	Energia Elétrica [MMWh]	Gás Natural [GJ]	Energia Primária [tep]			Custo de Energia [\$]
								Energia Elétrica	Gás Natural	TOTAL	
AS0388	7534	49	48000	7500000	Pneus recauchutados de aeronaves	3146,2	13182,9	676,4	314,8	991,2	391813
MZ0084	7534	250	10000	80000000	Pneus recauchutados	572,6	29283,9	123,1	699,3	822,4	273690

Energia consumida, pela Rechapal, para a produção de um pneu (MJ)

- A energia elétrica necessária para produzir um pneu:

$$\frac{222,2^7}{43\,397^7} = 0,00512 \text{ tep/unid.}$$

Convertendo tep em MJ, fica:

$$\frac{0,00512 \times 3600}{0,000215 \times 1000} = 85,75 \text{ MJ/unid.}$$

- O fuelóleo necessário para produzir um pneu:

$$\frac{694,7^7}{43\,397^9} = 0,01082 \text{ tep/unid}$$

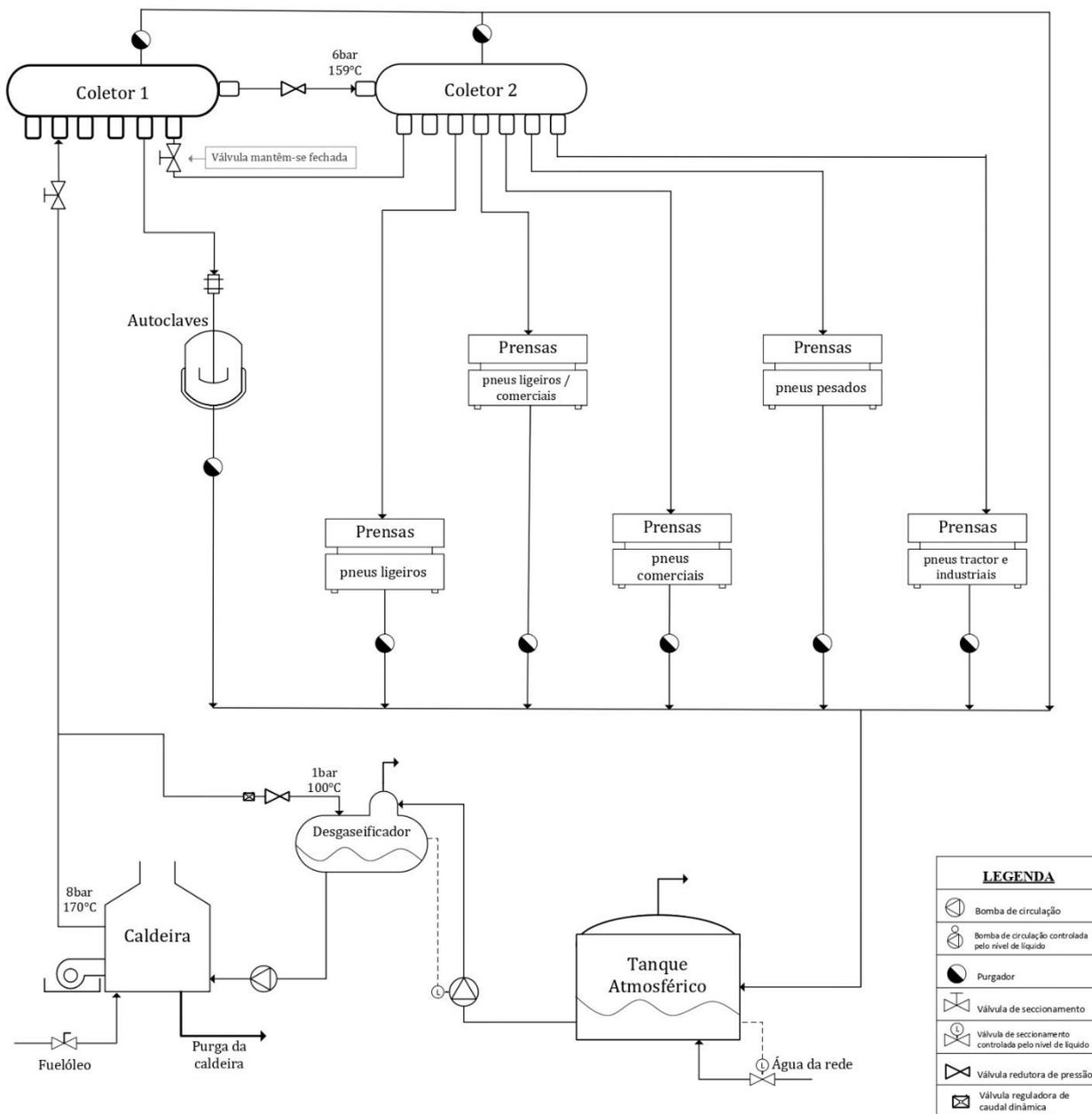
Convertendo tep em MJ, fica:

$$\frac{0,01082 \times 41,61 \times 1000}{0,994} = 452,80 \text{ MJ/unid.}$$

- Totalizando: $85,75 + 452,80 = 538,55 \text{ MJ/unid.}$

⁹ Valores retirados da Tabela 3-5

APÊNDICE F – FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR



APÊNDICE G – FOTOGRAFIAS OBTIDAS PELA CÂMARA TERMOGRÁFICA



Figura G.0-1 – Fotografia térmica da caldeira (lateral)

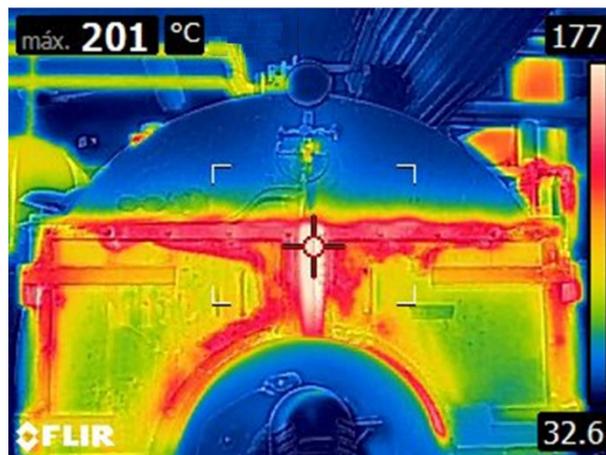


Figura G.0-2 - Fotografia térmica da caldeira (frontal)



Figura G.0-3 – Fotografia térmica bomba + linha de água que entra na caldeira



Figura G.0-4 – Fotografia térmica do coletor de vapor 1



Figura G.0-5 -- Fotografia térmica válvula redutora de pressão

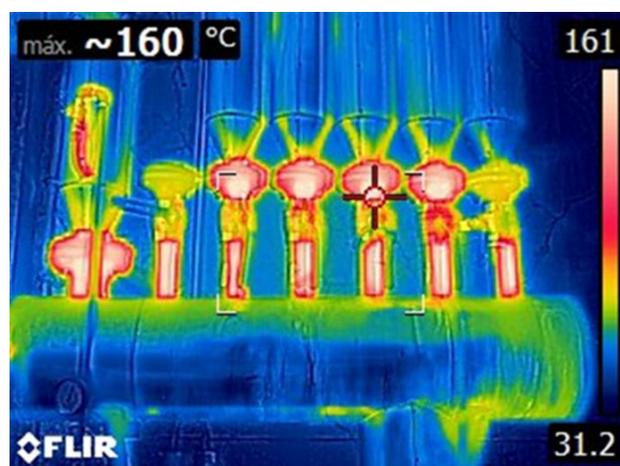


Figura G.0-6 -- Fotografia térmica do coletor de vapor 2

APÊNDICE H – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO

O procedimento experimental seguido tem como base o procedimento descrito no manual de operações do calorímetro [18].

Preparação:

1. Colocar 2000g \pm 0.5g de água destilada no balde;
2. Coloca-se a amostra no cadinho que foi previamente pesado e coloca-se no respetivo suporte. A amostra de combustível líquido deve ter uma massa de cerca de 1,00g;
3. Cortam-se 10 cm de fio fusível, prendendo-o nos suportes indicados, tendo o cuidado de o deixar em contacto com a amostra;
4. Adiciona-se 1 mL de água destilada no fundo da bomba de oxigénio;
5. Fechar corretamente a bomba e pressurizar entre os 20 e 30 bar;
6. Colocar a bomba dentro do balde e ligar os cabos elétricos;
7. Fechar a tampa do balde e ligar o agitador.

Ensaio:

1. Esperar 5 minutos até a temperatura estabilizar dentro do balde;
2. A partir deste momento, registar a temperatura desde este momento de 30 em 30 segundos durante 5 minutos;
3. Após estes 5 minutos, fazer a ignição e registar a temperatura aos 45, 60, 75, 90, e 105 segundos após ignição;
4. No final deste período voltar a registar temperaturas a cada 30 segundos até a temperatura estabilizar;
5. Quando estabilizar, registar durante mais 5 minutos as temperaturas a cada 30 segundos.
6. No final do ensaio fazer a despressurização da bomba através da válvula de escape, abrir a bomba e verificar se existem resíduos.

7. Lavar todas as superfícies internas da bomba com um jato de água destilada e coletar as lavagens em um copo.
8. Pesar o cadinho e medir a quantidade de fio fusível que restou. Esta última medição serve para subtrair ao PCS da amostra o valor da contribuição da queima do fio. A correção em calorias está localizada no cartão do fio fusível, *Parr Inst 45C10*.
9. Titular as lavagens feitas à bomba com uma solução de carbonato de sódio padrão usando laranja de metila ou indicador de vermelho de metila.

Após realizados os ensaios procedeu-se ao cálculo do poder calorífico superior, recorrendo para isto ao método descrito no manual de operações do calorímetro [18]. Já o poder calorífico inferior foi calculado segundo a secção 12.2 da norma CEN-14918 [19].

APÊNDICE I – CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MOLAR DO COMBUSTÍVEL UTILIZADO NA CALDEIRA

- Na análise feita pelo CIEPQPF é mostrada a percentagem mássica de carbono, hidrogénio, nitrogénio e enxofre. Totalizando, a soma destes, 97.081% da massa do fuelóleo. Os outros 2.919% são na sua grande maioria oxigénio e alguns outros elementos residuais. Mas visto que estes outros elementos estão em muito menor quantidade, vai considerar-se que estes 2.919% são compostos na sua totalidade por oxigénio.
- Também o enxofre, devido a sua percentagem insignificativa, vai ser ignorado.

➤ Massa molar dos elementos químicos que constituem o combustível:

$$M_N = 14.01 \text{ kg/kmol}$$

$$M_C = 12.01 \text{ kg/kmol}$$

$$M_H = 1.01 \text{ kg/kmol}$$

$$M_O = 15.99 \text{ kg/kmol}$$

➤ Então com a partir da percentagem mássica dos diferentes elementos constituintes do combustível, mostrada no Apêndice B, podemos escrever:

$$n_C = \frac{0.82095 \text{ kg/kg}_{Amostra}}{12.01 \text{ kg/kmol}} \approx 0.0684 \text{ kmol/kg}_{Amostra}$$

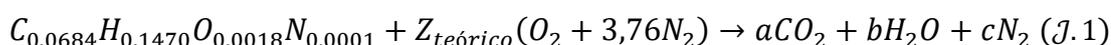
$$n_H = \frac{0.14843 \text{ kg/kg}_{Amostra}}{1.01 \text{ kg/kmol}} \approx 0.14670 \text{ kmol/kg}_{Amostra}$$

$$n_O = \frac{0.02919 \text{ kg/kg}_{Amostra}}{15.99 \text{ kg/kmol}} \approx 0.0018 \text{ kmol/kg}_{Amostra}$$

$$n_N = \frac{0.00143 \text{ kg/kg}_{Amostra}}{14.01 \text{ kg/kmol}} \approx 0.0001 \text{ kmol/kg}_{Amostra}$$

APÊNDICE J – CÁLCULO DA QUANTIDADE DE EXCESSO DE AR INICIAL

- **Equação estequiométrica da reação teórica:**



O termo entre parênteses representa a composição do ar seco. Como no cálculo atual estamos a trabalhar com a reação teórica, não existe oxigénio no lado dos produtos. O objetivo deste cálculo é determinar a quantidade mínima de ar seco necessária para se realizar uma combustão completa, ou seja, para todo o O_2 ser consumido.

Sabendo que o número de moles de cada elemento nos reagentes tem de ser igual ao número de moles nos produtos da combustão, é possível colocar esta equação na forma canónica:

$$\begin{cases} n_C \rightarrow 0,0684 = a \\ n_H \rightarrow 0,1470 = 2b \\ n_O \rightarrow 0,0018 + 2 Z_{teórico} = 2a + b \\ n_N \rightarrow 0,0001 + 7,52 Z_{teórico} = 2c \end{cases} \quad (J.2)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} a = 0,0684 \\ 2b = 0,1470 \\ 2a + b - 2 Z_{teórico} = 0,0018 \\ 2c - 7,52 Z_{teórico} = 0,0001 \end{cases}$$

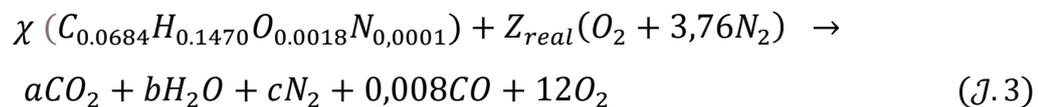
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & -7,52 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ Z_{teórico} \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0684 \\ 0,1470 \\ 0,0018 \\ 0,0001 \end{bmatrix}$$

Obtendo-se:

$$\begin{cases} a = 0,0684 \\ b = 0,0735 \\ Z_{teórico} = 0,1042 \left[\frac{kmol}{kg_{Amostra}} \right] \\ c = 0,3918 \end{cases}$$

São, então, necessários 0,1042 kmol de ar por cada kg de combustível queimado.

- **Equação estequiométrica da reação real:**



Na situação real sabemos a quantidade de oxigénio e monóxido de carbono nos produtos, tendo sido, os seus valores, obtidos através do analisador de gases (Tabela 4-5).

Para determinar o excesso de ar a partir dos dados de análise do gás é assumindo que os gases de combustão gerados, foram completamente secos, assim, a seguinte expressão auxiliar pode ser admitida a fim de calcular os balanços químicos:

$$c = 100 - (a + 0,008 + 12) \quad (J.4)$$

A partir da equação J. 3 e com auxílio da expressão J. 4 pode-se escrever:

$$\begin{cases} n_C \rightarrow 0,0684 \chi = a + 0,008 \\ n_H \rightarrow 0,1470 \chi = 2b \\ n_O \rightarrow 0,0018 \chi + 2 Z_{ideal} = 2a + b + 2 \times 12 + 0,008 \\ n_N \rightarrow 0,0001 \chi + 3,76 Z_{real} = (87,992) - a \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 0,0684 \chi - a = 0,008 \\ 0,1470 \chi - 2b = 0 \\ 0,0018 \chi - 2a - b + 2 Z_{ideal} = 24,008 \\ 0,0001 \chi + a + 3,76 Z_{real} = 87,992 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} 0,684 & -1 & 0 & 0 \\ 0,1470 & 0 & -2 & 0 \\ 0,0018 & -2 & -1 & 2 \\ 0,0001 & 1 & 0 & 3,76 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \chi \\ a \\ b \\ Z_{real} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,008 \\ 0 \\ 24,008 \\ 87,992 \end{bmatrix}$$

Obtendo-se:

$$\begin{cases} \chi = 93.2102 \\ a = 6.3634 \\ b = 6.8491 \\ Z_{real} = 21.7072 \end{cases} \quad [kmol/kg_{Amostra}]$$

$$c = 81.6286 \text{ kmol}$$

Dividem-se todos os valores obtidos em cima por χ , ficando:

$$\begin{aligned} \frac{\chi}{\chi} &= \mathbf{1.0000} \text{ kmol/kg}_{Amostra} & \frac{12}{\chi} &= \mathbf{0.1287} \text{ kmol/kg}_{Amostra} \\ \frac{a}{\chi} &= \mathbf{0.0683} \text{ kmol/kg}_{Amostra} & \frac{0.008}{\chi} &= \mathbf{0.00009} \text{ kmol/kg}_{Amostra} \\ \frac{b}{\chi} &= \mathbf{0.0735} \text{ kmol/kg}_{Amostra} & \frac{Z_{real}}{\chi} &= Z'_{real} = \mathbf{0.2329} \text{ kmol/kg}_{Amostra} \\ \frac{c}{\chi} &= \mathbf{0.8757} \text{ kmol/kg}_{Amostra} \end{aligned}$$

Sendo o excesso de ar dado pela diferença entre a quantidade de ar existente na reação real e a quantidade de ar necessária para ocorrer a reação ideal. Obtendo-se o valor, em percentagem, através:

$$\frac{(Z'_{real} - Z_{ideal})}{Z_{ideal}} \times 100 = \left(\frac{Z'_{real}}{Z_{ideal}} - 1 \right) \times 100 \quad (J.8)$$

Substituindo,

$$\left(\frac{0.2329}{0.1042} - 1\right) \times 100 = 123.53\%$$

Sendo o excesso de ar da reação real igual a 123.53%

APÊNDICE K – CÁLCULO ENERGIA LIBERTADA NA CALDEIRA (SITUAÇÃO ATUAL)

Para avaliar a quantidade de energia absorvida ou liberada no processo de combustão, vamos começar pela equação de balanço de energia:

$$E_{entra} = E_{saí} \quad (\mathcal{K}.1)$$

Como as energias potencial e cinética também são desprezadas, a relação de equilíbrio de energia que traduz a reação química de fluxo constante pode ser expressa por:

$$\begin{aligned} Q_{in} + W_{in} + H_{R,T} &= Q_{out} + W_{out} + H_{P,T} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow Q_{in} + W_{in} + \sum_R m \left(\Delta h_{f,298.15K}^\circ + (h_{T_{in}} - h_{T_{ref}}) \right) \\ &= Q_{out} + W_{out} + \sum_P m \left(\Delta h_{f,298.15K}^\circ + (h_{T_{out}} - h_{T_{ref}}) \right) \end{aligned} \quad (\mathcal{K}.2)$$

Onde m é a massa dos reagentes e produtos, respetivamente, por um quilo de combustível. $\Delta h_{f,298K}^\circ$ representa a entalpia de formação, já $h_{T_{in}}$, $h_{T_{out}}$ e $h_{T_{ref}}$ representam, respetivamente, a entalpia à temperatura de entrada, saída e de referência.

Durante a reação de combustão estudada, não existe nenhum trabalho a ser desenvolvido logo: $W_{in} = W_{out} = 0$. Existindo apenas saída de calor, sendo $Q_{in} = 0$.

A equação (K.2) fica, então igual:

$$Q_{out} = \sum_R m \left(\Delta h_{f,298.15K}^\circ + (h_{T_{in}} - h_{T_{ref}}) \right) - \sum_P m \left(\Delta h_{f,298.15K}^\circ + (h_{T_{out}} - h_{T_{ref}}) \right) \quad (\mathcal{K}.3)$$

Procede-se a aplicação da equação (K.3) para a reação de combustão que ocorre dentro da caldeira (combustão real). Aqui utiliza-se a temperatura ambiente, mostrada na Tabela 4-5, como temperatura de entrada ($T_{in} = 24,98^{\circ}C$), $T_{ref} = 25^{\circ}C$ e $T_{out} = 240^{\circ}C$. Já o valor da massa de cada substância é obtido dividindo, a massa molar pelo respetivo número de moles, calculado no Apêndice K.

$$\begin{aligned}
 Q_{out} = & 1,00 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{Combustível} + 7,45 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{O_2} \\
 & + 24,46 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{N_2} \\
 & - 3,00 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{CO_2} \\
 & - 1,32 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{H_2O} \\
 & - 24,53 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{N_2} \\
 & - 0,002 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{CO} \\
 & - 4,12 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{O_2} \quad (K.4)
 \end{aligned}$$

Todas as entalpias estão tabeladas, à exceção, da do combustível.

Para encontrar este, aplica-se a equação (K.3) à reação de combustão ideal. Nesta, \bar{q}_{out} é igual ao poder calorífico inferior do combustível, (tendo sido este obtido por método experimental e mostrado o seu valor na Tabela 4-3.

$$\begin{aligned}
 41610 = & 1,00 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{Combustível} + 3,33 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{O_2} \\
 & + 10,94 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tin} - h_{Tref})]_{N_2} - 3,01 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{CO_2} \\
 & - 1,32 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{H_2O} \\
 & - 10,98 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + (h_{Tout} - h_{Tref})]_{N_2}
 \end{aligned}$$

Substituindo pelas respetivas entalpias:

$$\begin{aligned}
 41610 = & +1,00 \times [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ} + 0]_{Combustível} + 3,33 \times [0 + 0]_{O_2} + 10,94 \times [0 + 0]_{N_2} \\
 & - 3,01 \times [-8941.60 + 0]_{CO_2} - 1,32 \times [-13423.26 + 0]_{H_2O} - 10,98 \times [0 + 0]_{N_2}
 \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow 41609 = +26899.27 + 17768.98 + 0 + [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ}]_{\text{Combustível}} - 0 - 0$$

$$\Leftrightarrow [\Delta h_{f,298.15K}^{\circ}]_{\text{Combustível}} = 41609 - 44668.25 = -3059,25 \text{ kJ/kg de combustível}$$

Encontramo-nos, agora, com condições de resolver a equação (K.4)

$$\begin{aligned} Q_{out} = & +1,00 \times [-3059,25 + 0]_{\text{Combustível}} + 7,45 \times [0 + (2018,41 - 2018,41)]_{O_2} \\ & + 24,53 \times [0 + (7579,47 - 7579,47)]_{N_2} \\ & - 3,00 \times [-8941,60 + (419,08 - 213,06)]_{CO_2} \\ & - 1,32 \times [-13423,26 + (961,70 - 549,78)]_{H_2O} - 24,53 \times [0 + (534,64 - 309,02)]_{N_2} \\ & - 0,002 \times [-3945,95 + (535,76 - 308,84)]_{CO} - 4,12 \times [0 + (475,87 - 270,85)]_{O_2} \end{aligned}$$

$$\Leftrightarrow Q_{out} = -3072,62 + 37114,75 = 34042,05 \text{ kJ/kg} \approx \mathbf{34,04 MJ/kg}$$

APÊNDICE L – CÁLCULO DO RENDIMENTO DA CALDEIRA PARA AS SITUAÇÕES APRESENTADAS EM 6.1.

Para proceder a este cálculo é necessário calcular a energia libertada na caldeira pelo combustível nas novas situações. Para isto vai utilizar-se feita da mesma forma que é mostrado no Apêndice K.

Aplicando um economizador (6.1.1.)

Tabela L.0-1 – Folha de Excel relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.1.

	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
Comb.	4,60	1,00	298,15	298,13		-3059,25				-3059,252
O2	31,999	7,45	298,15	298,13	-	0	2018	2018	-	-1,02
N2	28,013	24,46	298,15	298,13	-	0	7560	7559	-	-12,42
									Sum	-3073
	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
CO2	44,01	3,00	298,15	-	422	-8941,60	213,06	-	324,42	-26530,91
H2O	18,015	1,32	298,15	-	422	-13423,26	549,78	-	784,49	-17458,28
N2	28,013	24,53	298,15	-	422	0	309,02	-	438,35	3172,96
CO	28,011	0,00	298,15	-	422	-3945,95	308,84	-	438,65	-9,17
O2	31,999	4,12	298,15	-	422	0	270,85	-	387,27	479,60
									Sum	-40346
								q _{out} [kJ/kg]		37273,11
4336								PCI [MJ/kg]		37,27

Perda de rendimento combustão	Perda de rendimento purga
10,42%	0,45%
Perda de rendimento radiação	Eficiência da caldeira:
1,60%	87,53%

Regular o excesso de ar (6.1.2.)

Tabela L.0-2 - Folha de Excel relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.2.

	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
Comb.	4,60	1,00	298,15	298,13		-3059,25				-3059,252
O2	31,999	3,97	298,15	298,13	-	0	1076	1076	-	-0,29
N2	28,013	13,04	298,15	298,13	-	0	4030	4030	-	-3,53
										Sum -3063
	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
CO2	44,01	3,01	298,15	-	513	-8941,60	213,06	-	413,99	-26277,74
H2O	18,015	1,32	298,15	-	513	-13423,26	549,78	-	961,70	-17223,70
N2	28,013	13,08	298,15	-	513	0	309,02	-	534,64	2951,14
CO	28,011	0,00	298,15	-	513	-3945,95	308,84	-	535,76	-4,63
O2	31,999	0,64	298,15	-	513	0	270,85	-	475,87	131,14
										Sum -40424
									q _{out} [kJ/kg]	37360,72
									PCI [MJ/kg]	37,36

Perda de rendimento combustão		Perda de rendimento purga	
10,21%		0,45%	
Perda de rendimento radiação		Eficiência da caldeira:	
1,60%		87,74%	

Implementando simultaneamente as medidas 6.1.1. e 6.1.2.

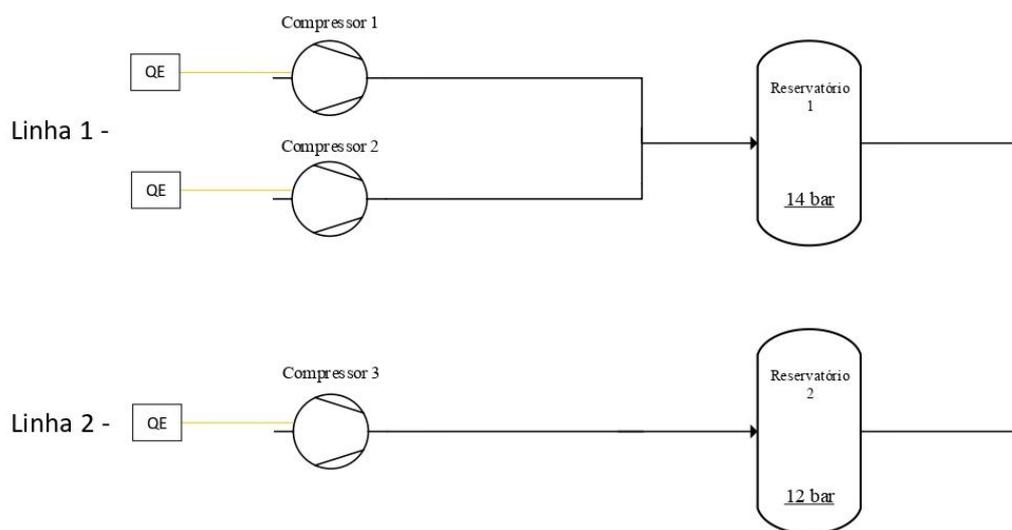
Tabela L.0-3 - Folha de Excel relativa aos cálculos do rendimento da proposta 6.1.1. + 6.1.2.

	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
Comb.	4,60	1,00	298,15	298,13		-3059,25				-3059,252
O2	31,999	3,97	298,15	298,13	-	0	1076	1076	-	-0,29
N2	28,013	13,04	298,15	298,13	-	0	4030	4030	-	-3,53
										Sum -3063
	M _{molar} [kg/kmol]	N _{R,P} [kg]	T _{ref} [K]	T _{in} [K]	T _{out} [K]	h _{f,ref} [kJ/kg]	h _{rel,ref} [kJ/kg]	h _{rel,Tin} [kJ/kg]	h _{rel,Tout} [kJ/kg]	h _{Total} [kJ/kg]
CO2	44,01	3,01	298,15	-	422	-8941,60	213,06	-	324,42	-26547,01
H2O	18,015	1,32	298,15	-	422	-13423,26	549,78	-	784,49	-17458,28
N2	28,013	13,08	298,15	-	422	0	309,02	-	438,35	1691,71
CO	28,011	0,00	298,15	-	422	-3945,95	308,84	-	438,65	-4,75
O2	31,999	0,64	298,15	-	422	0	270,85	-	387,27	74,47
										Sum -42244
									q _{out} [kJ/kg]	39180,78
									PCI [MJ/kg]	39,18

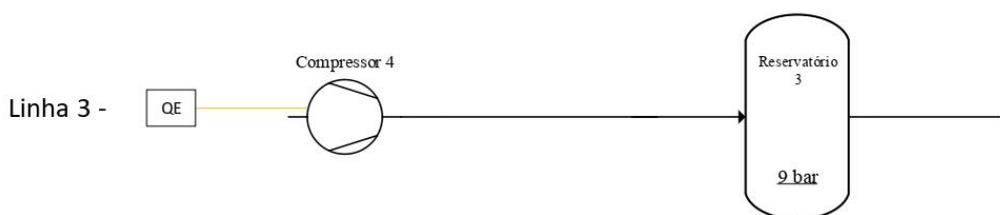
Perda de rendimento combustão		Perda de rendimento purga	
5,84%		0,45%	
Perda de rendimento radiação		Eficiência da caldeira:	
1,60%		92,11%	

APÊNDICE M – ESQUEMA DAS DUAS CENTRAIS DE AR COMPRIMIDO

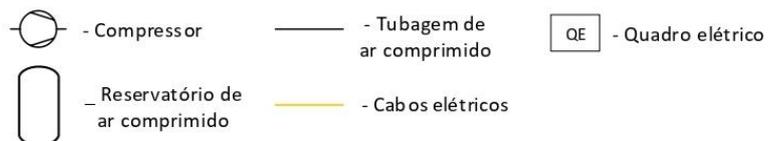
Central de ar comprimido nº1



Central de ar comprimido nº2



Legenda:



ANEXO A - DESPACHO N.º 17313/2008

Direcção-Geral de Energia e Geologia

Aviso n.º 18670/2008

Faz-se público, nos termos e para efeitos do n.º 1 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 88/90, de 16 de Março, que CORBÁRIO — Minerais Industriais, S. A., requereu a atribuição de direitos de prospecção e pesquisa de depósitos minerais de caulino, numa área localizada no concelho de Pombal, delimitada pela poligonal cujos vértices se indicam seguidamente, em coordenadas Hayford-Gauss, referidas ao Ponto Central:

Área total do pedido: 5,5207 km²

Vértice	Meridiana (m)	Perpendicular (m)
1	- 47184,0103	32683,7006
2	- 46655,9210	35237,5556

Despacho n.º 17313/2008

Nos termos da alínea a) do n.º 2 do artigo 19.º do Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, do SGCIE — Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia, o presente despacho procede à publicação dos factores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis seleccionados para utilização final, bem como dos respectivos factores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kgCO₂e).

Para efeitos deste Despacho, as quantidades e características das diferentes formas de energia consideradas devem ser verificadas à entrada da instalação CIE.

Nestes termos, estabelece-se o seguinte:

1 — Com base nos dados constantes da Tabela de Conversão incluída no Anexo II da Directiva 2006/32/CE publicada no Jornal Oficial da União Europeia de 27 de Abril de 2006, e do Quadro 4 da Decisão da Comissão n.º 2007/589/CE, de 18 de Julho, são adoptados para efeitos deste Despacho os factores de conversão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 — Poderes Caloríficos Inferiores e Factores de Emissão para Combustíveis

Combustível	PCI (MJ/kg)	PCI (tep/t)	FE (kgCO ₂ e/GJ)	FE (kgCO ₂ e/tep)
Antracite	26,7	0,638	98,2	4111,4
Betume / Alcatrão	40,2	0,96	80,6	3374,6
Biogasolina e Biodiesel	27	0,645	0	0,0
Briquetes de lignite	20	0,478	101,1	4232,9
Briquetes de turfa	16 — 16,8	0,382 — 0,401	105,9	4433,8
Carvão betuminoso	25,8	0,616	94,5	3956,5
Carvão sub-betuminoso	18,9	0,451	96,0	4019,3
Carvão vegetal	29,5	0,705	0	0,0
Combustível para motor (gasolina)	44 — 45	1,051 — 1,075	69,2	2897,3
Coque de Carvão	28,2	0,674	94,5	3956,5
Coque de forno / lignite ou gás	28,2 — 28,5	0,674 — 0,681	107	4479,9
Coque de Petróleo	31 — 32,5	0,740 — 0,776	97,5	4082,1
Etano	46,4	1,108	61,6	2579,1
Fuelóleo pesado	40 — 40,4	0,955 — 0,965	77,3	3236,4
Fuelóleo	41,2	0,984	77,3	3236,4
Gás de Alto Forno	2,5	0,060	259,4	10860,6
Gás de coqueria e de fábricas de Gás	38,7	0,924	44,7	1871,5
Gás de forno de acaeria a oxigénio	7,1	0,170	171,8	7192,9
Gás de petróleo liquefeito	46 — 47,3	1,099 — 1,130	63,0	2637,7
Gás de Refinaria	49,5	1,182	51,3	2147,8
Gás natural (superior a 93% de metano)	47,2 — 48	1,127 — 1,146	56,1	2348,8
Gás natural liquefeito	44,2 — 45,2	1,056 — 1,080	64,1	2683,7
Gás natural (1)	45,1	1,077	64,1	2683,7
Gases de aterro/ lamas de depuração e outros biogases	50,4	1,204	0	0,0
Gasóleo / Diesel	42,3 — 43,3	1,010 — 1,034	74,0	3098,2
Hulha	17,2 — 30,7	0,411 — 0,733	97,5	4082,1
Lignite castanha	5,6 — 10,5	0,134 — 0,251	101,1	4232,9
Lignite negra	10,0 — 21	0,239 — 0,502	101,1	4232,9
Lubrificantes, ceras parafínicas e outros produtos Petrolíferos	40,2	0,960	73,3	3068,9
Madeira / resíduos de Madeira	13,8 — 15,6	0,330 — 0,373	0	0,0
Matérias-primas para refinaria	43	1,027	73,3	3068,9
Metano	50	1,194	54,9	2298,6
Monóxido de Carbono	10,1	0,241	155,2	6497,9
Nafta química / Condensados de gasolina	44,5	1,063	73,3	3068,9
Óleo de xisto	38,1	0,910	73,3	3068,9
Óleos usados	40,2	0,960	73,3	3068,9
Orimulsão	27,5	0,657	76,9	3219,6
Outra biomassa primária sólida	11,6	0,277	0	0,0
Outros biocombustíveis Líquidos	27,4	0,654	0	0,0
Peletes / briquetes de madeira	16,8	0,401	0	0,0
Petróleo Bruto	42,3	1,01	73,3	3068,9
Querosene	43,8	1,046	71,8	3006,1
Resíduos Industriais	7,4 — 10,7	0,177 — 0,256	142,9	5982,9
Turfa	7,8 — 13,8	0,186 — 0,330	105,9	4433,8
Xisto betuminoso	8 — 9	0,191 — 0,215	106,6	4463,1

(1) Peso específico do Gás Natural é de 0,8404 kg/m³

Na tabela anterior, PCI (MJ/kg) é o poder calorífico inferior do combustível expresso em mega-Joule (MJ) por quilograma (kg), PCI (tep/t) é o poder calorífico inferior do combustível expresso em tonelada equivalente petróleo (tep) por tonelada (t), FE (kgCO₂e/GJ) é o factor de emissão de gases de efeito de estufa (ex: CO₂) expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes por energia libertada pelo combustível em giga-Joule (GJ) e FE (kgCO₂e/tep) é o factor de emissão de gases de efeito de estufa expresso em quilogramas de CO₂ equivalentes por energia libertada pelo combustível em tonelada equivalente petróleo (tep).

2 — Para outros combustíveis primários sólidos, líquidos ou gasosos não referidos explicitamente na tabela do ponto anterior e aos quais estes também não possam ser equiparados, é usada a seguinte expressão que transforma o valor do poder calorífico inferior (PCI) do combustível de MJ/kg para tep/t:

$$PCI (tep/t) = \frac{PCI (MJ/kg)}{41,868}$$

Esta expressão considera a conversão termodinâmica de tep em MJ utilizada pela Agência Internacional da Energia (1 tep = 41 868 MJ).

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão dos gases com efeito de estufa, para outros combustíveis primários sólidos, líquidos e gasosos não referidos explicitamente na tabela do ponto anterior e aos quais estes também não possam ser equiparados, deverão ser utilizados os valores de referência de factor de emissão (FE) de, respectivamente, 96, 73 e 59 kgCO₂e/GJ.

3 — A electricidade, o vapor e outros fluidos térmicos são formas de energia resultantes da transformação de fontes de energia primária. Assim, a conversão para tep da energia eléctrica e da energia térmica do vapor e de outros fluidos térmicos gerados por fornecedores externos tem que ter em conta o rendimento do processo de transformação.

3.1 — Para a energia eléctrica, a conversão considera o rendimento eléctrico médio ($\eta_{\text{eléctrico}}$) das centrais termoeléctricas que usam combustíveis fósseis. Nestes termos, a conversão de kWh de energia eléctrica para tep é dada pela fórmula:

$$Energia eléctrica (tep/kWh) = \frac{\eta_{\text{eléctrico}}}{86 \times 10^6}$$

Para efeitos deste Despacho e de acordo com o Anexo II da Directiva 2006/32/CE, o valor de $\eta_{\text{eléctrico}}$ é igual a 0,4, pelo que 1 kWh = 215 x 10⁶ tep.

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de electricidade é igual a 0,47 kgCO₂e/kWh, de acordo com o estabelecido na Portaria n.º 63/2008 de 21 de Janeiro, 1.ª série.

3.2 — Para o vapor, a conversão considera o rendimento térmico médio ($\eta_{\text{térmico}}$) das caldeiras utilizadas actualmente na geração de vapor, sendo dada por:

$$Energia do vapor (tep/t) = \frac{Entalpia específica do vapor (MJ/kg)}{\eta_{\text{térmico}} \times 41,868}$$

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de vapor é igual a:

Factor de Emissão para o consumo de vapor (kgCO₂e/GJ) = 65,05 / $\eta_{\text{térmico}}$

Para efeitos deste despacho, o valor de $\eta_{\text{térmico}}$ para as caldeiras de geração de vapor é igual a 0,9, pelo que 1 GJ de vapor consumido = 72,3 kgCO₂e.

3.3 — Para outros fluidos térmicos, a conversão considera o rendimento térmico médio da unidade de produção, sendo dada por:

$$Energia do fluido (tep/t) = \frac{\text{Calor útil (MJ/kg)}}{\eta_{\text{térmico}} \times 41,868}$$

O calor útil é definido como a diferença entre a energia térmica recebida do fornecedor e a devolvida.

Para efeitos da contabilização da intensidade carbónica por emissão de gases com efeito de estufa, considera-se que o factor de emissão associado ao consumo de fluido térmico é igual a:

Factor de Emissão para o consumo de fluido térmico (kgCO₂e/GJ) = 65,05 / $\eta_{\text{térmico}}$

Para efeitos deste despacho, o valor de $\eta_{\text{térmico}}$ para geradores de fluido térmico é igual a 0,9, pelo que 1 GJ de fluido térmico consumido = 72,3 kgCO₂e.

4 — Todas as situações que se encontrem fora do âmbito do presente Diploma, deverão ser apresentadas e comprovadas à Direcção-Geral de Energia e Geologia, que após análise emitirá um despacho.

O presente despacho entra em vigor à data da sua publicação no *Diário da República*.

3 de Junho de 2008. — O Subdirector-Geral, *Bento de Moraes Sarmiento*.

Direcção Regional da Economia de Lisboa e Vale do Tejo

Despacho n.º 17314/2008

Carlos Armando Martins de Azevedo Morais, técnico especialista principal, posicionado no escalão 2, índice 560, da carreira técnica do quadro de pessoal da Direcção Regional de Lisboa e Vale do Tejo do ex-Ministério da Economia, constante do mapa III anexo à Portaria n.º 443/99, de 18 de Junho, nomeado, por reclassificação profissional ao abrigo das disposições constantes do Decreto-Lei n.º 497/99, de 19 de Novembro, na categoria de técnico superior principal, escalão 2, índice 560, da carreira técnica superior, em lugar vago do mesmo quadro de pessoal.

Foi dado cumprimento às disposições legais constantes dos artigos 34.º e 41.º da Lei n.º 53/2006, de 7 de Dezembro, designadamente, através de processo de procedimento de selecção para reinício de funções por tempo indeterminado, P20080679/SigaME, publicitado em 14 de Fevereiro de 2008.

17 de Junho de 2008. — A Directora Regional, *Elisabete Velez*.

Região de Turismo do Alto Minho (Costa Verde)

Aviso n.º 18671/2008

Por despacho da Comissão Executiva da Região de Turismo do Alto Minho, de 7 de Abril de 2008, foi ratificado o pedido de licença sem vencimento por um ano renovável até 3, ao abrigo do n.º 1 do artigo 76.º do Decreto-Lei n.º 100/99, alterado pelo Decreto-Lei n.º 169/2006, de 17 de Agosto, a Maria Aurora Botão Pereira do Rego, Técnica Superior Principal, como Bolseira da Fundação da Ciência e Tecnologia, com efeitos a 01 de Abril de 2008.

7 de Abril de 2008. — O Presidente, *Francisco José Torres Sampaio*.

300449861

ANEXO B - RELATÓRIO DA ANÁLISE ELEMENTAR



CIEPQPF

Chemical Process Engineering and Forest Products Research Centre



Centro de Investigação - CIEPQPF
Departamento de Engenharia Química
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra
Rua Sílvio Lima, Polo II
3030-790 Coimbra – Portugal
A/C Eng. Maria João Bastos
Laboratório B32
Tel. +351 239 798 790
E-mail: cideq@eq.uc.pt

Reservado ao CIEPQPF <i>Internal data</i>	
<i>Identificação do Cliente</i> <i>Client identification</i>	DEM-Ricardo Mendes
<i>Código atribuído pelo CIEPQPF</i> <i>Internal n°</i>	Ext-202149
<i>Requisição n°</i> <i>Client order n°</i>	Ext2021040
<i>Orçamento n°</i> <i>Budget n°</i>	

<i>Data do Relatório</i> <i>Report Date</i>	01-07-2021
--	------------

Relatório de Análise / Analysis Report

1. Identificação / Identification	
<i>Nome</i> <i>Name</i>	Ricardo Mendes
<i>Empresa</i> <i>Company</i>	DEM-UC
<i>Email:</i>	ricardo.mendes@dem.uc.pt

2. Referência das amostras / Sample identification
Óleo_Rechap

3. Técnicas Utilizada / Used Techniques

Análise Elementar, Fisons Instruments, modelo EA1108

4. Resultados Obtidos / Obtained Results
--

Análise Elementar				
Amostra	% N (w/w)	% C (w/w)	% H (w/w)	% S (w/w)
Óleo_Rechap	0.143 ±0.007	82.095 ±0.511	14.843 ±0.367	≤100 ppm