



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Manutenção de caldeiras de Biomassa, avaliação da sua eficiência e desempenho**

Kevin Martins Borges

## **Relatório de Estágio**

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de  
Professor Doutor José Luís Henriques da Silva  
Professor Doutor Carlos Alberto Catorze Pereira

Novembro de 2023





**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

# **Manutenção de Caldeiras de Biomassa, avaliação da sua eficiência e desempenho**

Kevin Martins Borges

## **Relatório de Estágio**

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor José Luís Henriques da Silva

Professor Doutor Carlos Alberto Catorze Pereira

Novembro de 2023







## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a toda a minha família que todos os dias me acompanharam nos meus momentos mais difíceis e que sempre tiveram compreensão e resiliência, motivando-me a chegar ao fim desta etapa. Aos docentes que me acompanham desde a minha chegada ao Instituto Politécnico de Viseu, e a todos os que fui conhecendo ao longo do Mestrado.

Agradeço aos meus orientadores Professor Doutor José Luís e ao Professor Doutor Carlos Catorze pela disponibilidade e pelas orientações que me levaram a realizar este relatório.

À Luso Finsa pela oportunidade de me permitir usar trabalhos realizados dentro da mesma para realização desta dissertação, bem como de me formar na manutenção das caldeiras, ao qual exigia elevada responsabilidade. Ao meu colega de trabalho Eng. Tiago Craveiro que me ensinou imenso desde o primeiro dia de trabalho, sempre com boa disposição e com vontade de ensinar. Aos meus colegas de trabalho, o Eng. João Aires, à Eng. Carlota Pinto e à Eng. Inês Cruz pela ajuda na realização deste trabalho final de curso.

A capacidade de ter conseguido atravessar todo este caminho pelo Mestrado e de o terminar, só foi possível devido a todas essas pessoas que me motivaram e que me incentivaram a seguir este caminho, sobretudo a não desistir do longo caminho que se avizinhava.

## RESUMO

O Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial permite a realização de um estágio curricular com o objetivo de aprofundar a formação do aluno num contexto de trabalho. Permite ainda, ao mesmo colocar em prática o que foi aprendido (os conteúdos lecionados), através da integração no contexto fabril.

O principal foco deste relatório de estágio passa sobretudo pelo estudo da eficiência energética, o efeito da manutenção na eficiência da caldeira e por fim a realização de um plano de lubrificação.

Para assegurar que os equipamentos se encontrem disponíveis, permitindo um aumento da rentabilidade, torna-se essencial garantir uma correta manutenção preventiva. O principal foco passa sobretudo por aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos, garantindo o aumento da disponibilidade dos equipamentos bem como a redução dos custos de manutenção a longo prazo. Com os custos de energia cada vez mais elevados, existe a necessidade de se obter equipamentos mais eficientes, de modo a manter os custos de produção a um preço acessível. Assim a manutenção acaba por ter um papel fundamental nesta redução, mantendo os equipamentos em condições ideais de funcionamento.

Este relatório surgiu no âmbito do relatório de estágio do Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Todo o relatório de estágio foi desenvolvido em ambiente industrial na empresa *Luso Finsa*, mais concretamente na produção de energia térmica através da combustão de biomassa, utilizando caldeiras para o efeito.

**Palavras-chave:** Caldeira, Manutenção, Lubrificação, Biomassa

## **ABSTRACT**

The Master's Degree in Mechanical Engineering and Industrial Management allows for a curricular internship with the aim of deepening the student's training in work context. It also allows you to put into practice what was learned (the content taught), through integration into the manufacturing context.

The main focus of this internship report is mainly the study of energy efficiency, the effect of maintenance on boiler efficiency and finally the creation of a lubrication plan.

To ensure that equipment is available, allowing increase profitability, it is essential to ensure correct preventive maintenance. The main focus is mainly on increasing the useful life of equipment, ensuring increased equipment availability as well as reducing long-term maintenance costs. With energy costs increasingly high, there is a need to obtain more efficient equipment in order to keep production costs at an affordable price. Therefore, maintenance ends up playing a fundamental role in this reduction, keeping equipment in ideal operating conditions.

This report emerged as part of the internship report in Mechanical Engineering and Industrial Management. The entire internship report was developed in an industrial environment at the company Luso Finsa, more specifically in the production of thermal energy through the combustion of biomass, using boilers for this purpose.

**Keywords:** Boiler, Maintenance, Lubrication, Biomass

## Índice

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE DE TABELAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS .....	xv
CAPÍTULO 1. Introdução .....	19
1.1. Objetivos .....	19
1.2. Estrutura do relatório de estágio.....	20
CAPÍTULO 2. Revisão Bibliográfica .....	21
2.1. Conceito de Biomassa .....	21
2.1.1. Biomassa como Combustível .....	22
2.1.2. Conversão da Biomassa em Energia e Exergia .....	23
2.2. Caldeiras de Biomassa.....	24
2.2.1. Funcionamento Geral das Caldeiras de Biomassa.....	24
2.2.2. Dependência Energética .....	25
2.3. Planos de Lubrificação .....	25
2.3.1. Indicadores-Chave de Performance.....	28
2.4. Tipos de Manutenção .....	28
2.4.1. Indicadores de Manutenção.....	30
CAPÍTULO 3. Caso de Estudo na Luso Finsa .....	33
3.1. Apresentação da Empresa .....	33
3.2. Biomassa Utilizada para a Produção de Energia Térmica .....	33
3.3. Geração de Energia Térmica a partir de Caldeiras de Biomassa Oleotubulares ...	35
3.3.1. Utilização da Energia Térmica .....	36

3.4.	Situação Atual da Caldeira .....	37
3.5.	Características do Óleo Térmico e sua Temperatura.....	38
3.6.	Temperaturas de Gases à Saída da Câmara de Combustão para a Câmara de Convecção.....	41
3.7.	Pressões da Câmara de Combustão medidas na saída da combustão.....	41
3.8.	Caudal Volúmico de Óleo Térmico medido por caudalímetros.....	43
3.9.	Temperaturas da Água de Circulação na Câmara de Combustão .....	43
	<b>CAPÍTULO 4. Estudo da Caldeira de Biomassa.....</b>	<b>45</b>
4.1.	Cálculos das Potências Produzidas pela Caldeira .....	46
4.1.1.	Potência Térmica Absorvida pela Água .....	46
4.1.2.	Potência de aquecimento do Óleo Térmico.....	47
4.1.3.	Potência Fornecida pela Biomassa .....	48
4.1.4.	Potência Fornecida pela Fibra “Wet-Dust”, pela Fibra “Black-Dust” e pelo pó das lixadoras/crivas .....	49
4.1.5.	Potência Libertada para os Gases de Combustão .....	50
4.2.	Potência Real Total .....	51
4.3.	Variador de Velocidade.....	53
4.4.	Principais Problemas Encontrados na Operação da Caldeira de Biomassa .....	54
4.5.	Análise dos Indicadores de Manutenção .....	56
4.5.1.	Indicadores de Manutenção .....	56
4.5.2.	Grelhas da Câmara de Combustão .....	63
4.6.	Plano de Lubrificação da Caldeira de Biomassa .....	73
4.7.	Métodos e Procedimentos a Utilizar na Elaboração da Lubrificação .....	73
4.7.1.	Periodicidade de Lubrificação .....	74
4.7.2.	Tipos de Motorreductores Usados na Luso Finsa .....	74
4.7.3.	Centrais Hidráulicas (CHY) .....	75
4.7.4.	Lubrificante Utilizado em Chumaceiras.....	76

4.7.5. Plano de Lubrificação Criado.....	76
CAPÍTULO 5. Conclusões Finais .....	77

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Diferença entre Energia e Exergia _____	23
Tabela 2 – Exemplo de um plano de lubrificação _____	27
Tabela 3 - Tipos de manutenção existentes e suas características _____	29
Tabela 4 - Características dos diversos combustíveis sólidos _____	34
Tabela 5 - Produtores de Energia Térmica _____	36
Tabela 6 - Características do óleo térmico CEPSA DIATERMO 22 _____	39
Tabela 7 - Temperaturas de entrada e saída de óleo térmico da caldeira de biomassa	40
Tabela 8 - Temperatura média dos gases à saída da caldeira _____	41
Tabela 9 - Pressões médias medidas na câmara de combustão _____	42
Tabela 10 - Caudal volúmico de óleo térmico que circula dentro da caldeira _____	43
Tabela 11 - Temperatura média da água de refrigeração _____	44
Tabela 12 – Potências nominais da caldeira VYNCKE e outras especificações _____	45
Tabela 13 - Potência térmica real absorvida pela água _____	47
Tabela 14 - Resultados para a potência real absorvida pela água _____	47
Tabela 15 – Características do óleo térmico _____	47
Tabela 16 - Potência real absorvida pelo óleo térmico _____	48
Tabela 17 - Equipamentos utilizados para os ensaios de calorimetria da biomassa e condições de ensaio _____	48
Tabela 18 – Propriedades da EBF, EBR e da Placa Rejeitada _____	49
Tabela 19 - Resultados reais para a potência resultante da combustão da biomassa _____	49
Tabela 20 - Dados reais do PCI e do caudal mássico do Wet-Dust, do Black-Dust e do pó das crivas _____	50
Tabela 21 - Dados reais da potência fornecida pelo Wet-Dust, pelo Black-Dust e pelo pó das crivas _____	50
Tabela 22 - Potência libertada para os gases de combustão _____	51

Tabela 23 - Resultados reais para a potência libertada para os gases de combustão	51
Tabela 24 - Potência do motor do ventilador de tiro sem variador (janeiro 2022)	53
Tabela 25 - Potência do motor do ventilador de tiro com variador (janeiro 2023)	54
Tabela 26 - Falhas ocorridas no separador de paus em cada ano	57
Tabela 27 - MTBF, MTTR e Disponibilidade do equipamento em diferentes anos	62
Tabela 28 - Quantidade de falhas nos anos 2021 e 2022	63
Tabela 29 - MTBF, MTTR e disponibilidade do equipamento nos anos 2021 e 2022	66
Tabela 30 - Critérios usados na escolha do índice de ocorrência	67
Tabela 31 - Critérios usados na escolha do índice de gravidade	68
Tabela 32 - Critérios usados na escolha do índice de deteção	68
Tabela 33 - Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para o Separador de Paus	70
Tabela 34 - Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para as grelhas móveis	72
Tabela 35 - Periodicidade de lubrificação	74
Tabela 36 - Tipos de motorreductores usados na Luso Finsa da marca SEW	75
Tabela 37 - Características técnicas do óleo hidráulico HM 68	75
Tabela 38 - Diferença entre massas com e sem lítio	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Modo de funcionamento de uma caldeira de Biomassa .....	21
Figura 2 - Diagrama de fluxo de óleo térmico da Caldeira em estudo .....	38
Figura 3 - Temperaturas de entrada e saída de óleo térmico ao longo de um ano .....	40
Figura 4 - Aumento do rendimento a seguir às manutenções preventivas .....	52
Figura 5 - Separador de paus (Luso Finsa 2023).....	57
Figura 6 – Falhas do separador de paus no ano 2019.....	57
Figura 7 – Falhas do separador de paus no ano 2020.....	59
Figura 8 - Falhas do separador de paus no ano 2021 .....	60
Figura 9 – Falhas do separador de paus no ano 2022.....	61
Figura 10 – Grelhas da câmara de combustão (Luso Finsa 2023) .....	63
Figura 11 - Falhas das grelhas nos anos 2021 e 2022 .....	64



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

OEE	Eficiência global dos equipamentos
PMP	Percentagem de Manutenção Planeada
KPI	Key Performance Indicator
SAP	Systems, Applications and Products in Data Processing
MTTR	Mean Time to Repair
MTBF	Mean Time Between Failures
DISP	Disponibilidade
CONF	Confiabilidade
RCM	Reliability-Centered Maintenance
PCI	Poder Calorífico Inferior
MDF	Medium- Density Fiberboard



## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

Devido ao aumento da competitividade no meio empresarial, o conceito manutenção tem ganho cada vez mais notoriedade. Sendo a otimização de processo e lucro pontos fulcrais na sobrevivência das empresas, a manutenção assume um papel essencial como suporte à produção.

A elevada necessidade de garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos, de modo a aumentar o rendimento do processo, obriga a manutenção a trabalhar preventivamente, reduzindo custos posteriores em reparações.

Com a crescente necessidade de antever a possibilidade de falha dos equipamentos, foi necessário a elaboração de novas técnicas e métodos de análise. Estas técnicas auxiliaram a produção, garantindo a disponibilidade da máquina, aumentando consequentemente o rendimento produtivo.

A caldeira de biomassa é o principal equipamento de operação de toda a produção na Luso Finsa, fortemente dependente da energia térmica. Segundo Vieira (2014), a viabilidade deste tipo de caldeiras depende de diversos fatores, tais como: os combustíveis utilizados, o correto dimensionamento dos seus componentes e, por fim, do tratamento dos efluentes gasosos.

A caldeira em estudo não apresenta qualquer plano de lubrificação oficial em documento, causando uma incerteza a todos os colaboradores que lubrificam os componentes constituintes. A elaboração de um plano de lubrificação dos equipamentos de maior necessidade, previne o esquecimento por parte da equipa de manutenção.

### **1.1. Objetivos**

Este relatório de estágio tem como objetivo principal o estudo da eficiência energética da caldeira de biomassa. Este estudo depende dos dados recolhidos ao longo de um ano de trabalho, analisando o seu comportamento térmico, de modo a poder otimizar o seu funcionamento.

Outro aspeto importante é a análise do histórico das intervenções de manutenção efetuadas ao longo dos anos em que a caldeira se encontra no ativo. Essa informação permite identificar os equipamentos mais problemáticos, encontrar uma solução e

apresentá-la de forma a prevenir falhas futuras, aumentando assim a disponibilidade da caldeira.

Os planos de lubrificação são de enorme importância para assegurar a disponibilidade dos equipamentos. Assim sendo, será elaborado um plano de lubrificação para esta caldeira, o qual não tinha sido implementado.

## **1.2. Estrutura do relatório de estágio**

O presente documento encontra-se dividido em cinco capítulos, estes estão subdivididos em diferentes secções de acordo com as diversas etapas de análise e temas abordados.

O Capítulo 1 tem como intuito enquadrar e elucidar quais os objetivos pretendidos, ou seja, uma síntese em que consistiu o relatório desenvolvido.

O Capítulo 2 faz a contextualização teórica, abrangendo os tópicos que estão relacionados com os equipamentos e as metodologias utilizadas no estudo e desenvolvimento do projeto.

O Capítulo 3 aborda a contextualização do projeto, a apresentação da empresa, os sistemas de informação utilizados e, por fim, um estudo pormenorizado de toda a energia consumida e produzida, a introdução de um plano de lubrificação e ainda os efeitos da manutenção preventiva na caldeira.

O Capítulo 4 representa o levantamento e análise de dados, sendo apresentada uma proposta de melhoria.

O Capítulo 5 faz uma conclusão geral de todo o trabalho desenvolvido, assim como uma conclusão dos resultados apresentados.

## CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são abordados conceitos teóricos considerados necessários para o desenvolvimento e realização deste relatório de estágio. Estudos realizados por autores sobre o conceito de manutenção, o estudo da biomassa como combustível e ainda a importância da lubrificação nos equipamentos.

Para esta revisão bibliográfica foram consultadas diversas dissertações e teses no RCAPP, Repositórios Científicos de Acesso Aberto de Portugal, o google académico, web of science, scopus e ainda na biblioteca da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.

### 2.1. Conceito de Biomassa

A biomassa é uma fonte de energia utilizada desde a pré-história, de modo a satisfazer as necessidades do ser humano. De acordo com Hong Huang et al. (2022), “Biomassa é a matéria orgânica, quer seja de origem vegetal ou animal, que pode ser utilizada como fonte de energia”. Para analisar o funcionamento de uma caldeira é necessário quantificar as energias envolvidas no processo de uma caldeira, sendo necessário considerar a energia gasta na vaporização da água presente na biomassa Vieira (2014).

A figura 1 é uma representação esquemática dos fluxos de massa e energia de uma caldeira a biomassa.

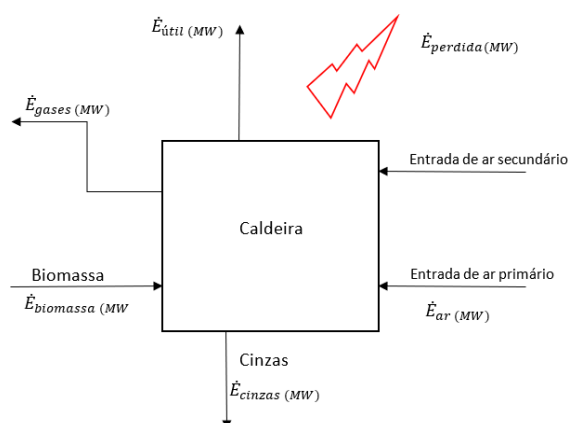


Figura 1 - Modo de funcionamento de uma caldeira de Biomassa

Fonte: Adaptado Vieira (2014)

Qualquer caldeira necessita que ocorra uma queima de um determinado combustível com ar. Para que a eficiência da queima do combustível seja máxima, é necessário que existam dois tipos de entrada de ar, sendo eles a entrada de ar primário e secundário. O ar primário é aquele que dará à combustão, o ar necessário à queima do combustível, entrando por baixo das grelhas nas quais o combustível se encontra. No entanto pode ser insuficiente, podendo ainda haver combustível por queimar, nomeadamente monóxido de carbono. Assim entra o ar secundário, este por cima das grelhas da câmara de combustão, rico em oxigénio que através da combustão com o monóxido de carbono, forma dióxido de carbono, dando assim fim ao processo completo da combustão. Pode em certos casos, existir ainda uma entrada terciária de ar. Esta introdução de ar primário e secundário permite uma queima mais homogeneizada.

### **2.1.1. Biomassa como Combustível**

A biomassa fornece toda a energia térmica, através da sua combustão, necessária para o processo de produção em empresas como a Luso Finsa.

Dependendo da época do ano em questão, a biomassa utilizada pode influenciar bastante a queima e, conseqüentemente, a eficiência da caldeira. No inverno sendo um clima mais húmido e com temperaturas mais baixas, a energia necessária para a evaporação da água existente na biomassa, irá resultar numa diminuição da temperatura da caldeira afetando severamente o seu rendimento. Segundo um estudo Oliveira & Moreira (2021), no caso do teor de humidade da biomassa ser superior a 60% não existe condições para ocorrer combustão.

Após a combustão da biomassa, é essencial fazer um estudo dos poluentes emitidos bem como a existência de escassez ou excesso de gases poluentes libertados (Barbosa, 2015). No caso da Luso Finsa, estes gases são usados para secar a fibra no processo produtivo de MDF, diminuindo o teor de humidade presente na fibra. A época da sua colheita e o modo de armazenamento, influenciam os teores de humidade e em consequência a quantidade de energia libertada no processo de combustão.

### 2.1.2. Conversão da Biomassa em Energia e Exergia

Segundo Aldo Henne et al. (2019), “(...) as propriedades químicas e energéticas da biomassa e dos resíduos produzidos durante o processo de combustão, bem como o seu comportamento de degradação térmica, são diferentes entre os pontos de colheita, o que demonstra que o processo de combustão é dinâmico e varia dentro do sistema de caldeira”.

Cardoso (2016) afirma que “quando se tem uma eficiência energética alta nem sempre significa que a caldeira possuiu um alto desempenho a nível termodinâmico. De um modo geral, o desempenho é máximo quando a destruição de exergia no processo é mínima”. A exergia é a capacidade de transformar energia em trabalho, assim, é necessário compreender que condições permitem uma diminuição das perdas associadas ao processo de combustão, transporte de gases e permuta de calor para o fluido térmico de transporte. Através da Tabela 1, o autor faz ainda uma comparação entre energia e exergia, embora que estes conceitos se encontrem relacionados, poderá obter-se uma ideia das diferenças entre eles.

Tabela 1 - Diferença entre Energia e Exergia

<b>Energia</b>	<b>Exergia</b>
Depende apenas de parâmetros dos fluxos de energia e matéria, independente de parâmetros ambientais.	Depende dos parâmetros ambientais, dos parâmetros de fluxo de matéria e dos parâmetros de energia.
Tem valor diferente de zero.	É igual a zero (no estado morto, em equilíbrio com o ambiente).
É baseada na Primeira Lei da Termodinâmica para todos os processos.	É baseada na Primeira Lei da Termodinâmica apenas em processos reversíveis (em processos irreversíveis é destruída completamente ou apenas em parte).
É sempre conservada num processo, e não pode ser destruída.	É sempre conservada em processos reversíveis e destruída em processos irreversíveis.
É uma medida apenas de quantidade.	É uma medida de quantidade e de qualidade.

Fonte: Cardoso (2016)

Num tipo de indústria dependente da energia térmica, as caldeiras de biomassa desempenham um papel fundamental para o desenvolvimento económico da mesma. De acordo com Ruivo (2016), uma das variáveis operacionais mais importantes para obter-se uma boa combustão para o processo é o ar, contudo esta não é a única variável que influencia o bom funcionamento de uma caldeira de biomassa. A existência de uma manutenção preventiva bem planeada, provoca um efeito positivo, aumentando a disponibilidade do equipamento.

## **2.2. Caldeiras de Biomassa**

No meio empresarial, a redução de custos é uma preocupação cada vez mais presente, e para tal é necessário que o tempo de disponibilidade do equipamento seja superior ao tempo despendido em manutenções ou mesmo reparações.

A manutenção em qualquer equipamento, permite um aumento do tempo de vida útil e reduz sobretudo os custos de reparações futuras.

### **2.2.1. Funcionamento Geral das Caldeiras de Biomassa**

As caldeiras são equipamentos com a finalidade de produzir energia sob a forma de calor de modo a transferir para um fluído. No entanto, necessita de queimar um combustível, quer seja sólido, líquido ou gasoso, para gerar a energia suficiente para a sua operação.

Existem diversos tipos de caldeiras, sendo o fluído circulante nas serpentinas que as distingue. Existem três tipos de caldeiras mais utilizadas na indústria, são elas: caldeiras aquatubulares, caldeiras piro-tubulares e por último oleotubulares.

As caldeiras aquatubulares são, como o próprio nome sugere, aquelas em que a água circula no interior dos tubos, vaporizando-se através da energia recebida pelo gás que circula pelo exterior dos tubos. Estas caldeiras são conhecidas ainda por caldeiras de tubos de água (L. C. Cardoso, 2014).

As caldeiras piro-tubulares são aquelas em que os gases provenientes da combustão, circulam no interior dos tubos, sendo circundados pela água a ser aquecida

ou vaporizada. Estas caldeiras são também conhecidas por caldeiras tubos de fumo (L. C. Cardoso, 2014).

As caldeiras oleotubulares são idênticas às caldeiras aquatubulares, alterando apenas o fluido que circula no interior dos tubos, sendo que neste caso circula óleo em vez de água.

Segundo a autora Silva (2018), uma caldeira de combustível sólido, é composta por uma câmara de combustão do combustível, um ou mais permutadores de calor, uma câmara de recolhimento de cinzas, alimentação de ar e saída dos produtos resultantes da combustão. São partes importantes para o correto funcionamento da caldeira.

### **2.2.2. Dependência Energética**

A crescente necessidade de obter-se energia proveniente dos combustíveis deve-se sobretudo ao aumento da escalada da revolução industrial. Ao longo dos anos, a população mundial vem procurando alternativas para alimentar as suas necessidades crescentes do consumo de energia, levando a uma tentativa de redução do consumo de combustíveis fósseis, como o caso do carvão mineral e do petróleo, aumentando assim o uso de energias mais limpas, como é o caso da energia solar, hídrica e eólica. A energia é essencial para a riqueza da produção industrial, comercial e social de cada país (Vieira, 2014), no entanto acarreta diversos problemas para o meio ambiente, provocando um aumento dos gases por efeito de estufa e diversos poluentes atmosféricos.

Para o aquecimento de uma caldeira é necessário despende de uma elevada quantidade de energia, podendo ser obtida através da queima de combustíveis provenientes de energias não renováveis, no entanto são fontes de energia que demoram imensos anos a serem produzidas, uma escala temporal insustentável.

### **2.3. Planos de Lubrificação**

Um plano de lubrificação é uma ferramenta de manutenção industrial utilizada para um melhor controlo e planeamento das atividades de lubrificação dos equipamentos (Neto, 2021). Os autores referem ainda que os óleos lubrificantes podem ser divididos em quatro grupos, sendo eles as massas, óleos compostos, óleos minerais puros e sintéticos. As misturas de óleos minerais com massas formam os chamados óleos compostos.

Segundo Antunes et al. (2019), as etapas de elaboração de um plano de lubrificação são:

- Escolha dos equipamentos a integrar o plano de lubrificação;
- Nome dos equipamentos;
- Localização dos equipamentos;
- Métodos de aplicação;
- Número de pontos de lubrificação;
- Partes a serem lubrificadas;
- Especificação de massa ou óleo;
- Períodos de substituição;
- Serviços a serem executados;
- Lubrificadores recomendados para cada localização.

Com a inexistência de um plano de lubrificação, segundo o autor Neto (2021) “a falta de lubrificação pode causar sérios problemas para o sistema, como: aumento do atrito e desgaste, aquecimento, ruídos e rutura de peças”. Este autor criou um plano de lubrificação para os itens utilizados no estágio que fez, utilizando os manuais do equipamento fornecido pelos fornecedores para retirar as informações necessárias para o seu plano de lubrificação. Para tal usou como informação o tipo de lubrificante usado para cada equipamento, bem como a ferramenta para aplicar a lubrificação, a periodicidade da lubrificação, a quantidade a aplicar e o tipo de manutenção (Tabela 2). No caso da temperatura, como utilizou novamente a periodicidade, adicionou o valor padrão a que estará sujeito aquele lubrificante, no equipamento definido e por fim, o tipo de manutenção. O mesmo foi feito para verificar os níveis do lubrificante, no entanto todos estes procedimentos foram realizados com o equipamento em funcionamento.

Tabela 2 – Exemplo de um plano de lubrificação

Equipamento	Lubrificante	Ferramenta	Atividades									
			Relubrificar			Verificar temperatura			Verificar nível		Máquina	
			Periodicidade	Quantidade por ponto	Tipo manutenção	Periodicidade	Valor padrão	Tipo manutenção	Periodicidade	Tipo manutenção	Parado	Funcionamento
<b>SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO MOEGA</b>												
384.1	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	20,0 g	MP	Semanal	70°	MP	.....	.....	.....	X
384.2	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	20,0 g	MP	Semanal	70°	MP	.....	.....	.....	X
384.3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Semanal	MP	.....	X
384.4	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	5,0 g	MP	.....	.....	.....	.....	.....	.....	X
384.5	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	5,0 g	MP	.....	.....	.....	.....	.....	.....	X
384.6	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	5,0 g	MP	.....	.....	.....	.....	.....	.....	X
384.7	Multifak EP2	Bomba manual de graxa	45 h (semanal)	5,0 g	MP	.....	.....	.....	.....	.....	.....	X
384.8	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	Semanal	MP	.....	X

Fonte: (Neto, 2021)

### **2.3.1. Indicadores-Chave de Performance**

O conceito de KPI foi estudado ao longo do tempo por diversos autores, culminando numa definição mais unânime e consensual. O autor Barros (2019), juntou algumas dessas definições, e definiu KPI como:

- “KPI vem da sigla em inglês para *Key Performance Indicator*, ou seja, indicador-chave de performance. É uma forma de medir se uma ação ou um conjunto de iniciativas estão efetivamente atendendo aos objetivos propostos pela organização.”

- “KPI representa um conjunto de medidas com foco nos aspetos do desempenho organizacional que são os mais críticos para o sucesso atual e futuro da organização.”

A introdução de plataformas informáticas como o SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung), em português, “Sistemas, Aplicativos e Produtos para processamento de dados”, veio facilitar a manutenção preventiva, pois todas as intervenções efetuadas desde a primeira intervenção estão disponíveis, para todos os técnicos que estejam ligados à manutenção de qualquer equipamento. Permite avaliar as causas das avarias mais comuns, o tempo de vida médio de um equipamento bem como, conseguir prever a falha de algum componente.

Outro método de avaliação é através de indicadores de manutenção, tais como o MTBF, o MTTR, o OEE, o PMP, o *downtime*, o *backlog* e por fim a taxa de cumprimento de manutenção preventiva (Oliveira, 2015). São indicadores que permitem avaliar e quantificar o desempenho de uma determinada atividade de manutenção, ativo ou departamento.

### **2.4. Tipos de Manutenção**

Existem diversos tipos de manutenção caracterizadas pelas diferentes formas de atuação bem como o momento em que é feita a intervenção nos equipamentos existentes nas instalações. Quando existe um histórico de manutenções associados a cada equipamento, podem ajudar antecipadamente a prevenir situações de falha total do equipamento, no qual poderia resultar num elevado custo de reparação ou então a perda total desse equipamento.

Diversos são os autores que referem a elevada importância do uso dos diversos métodos de manutenção. Segundo (Oliveira, 2015), existe sete tipos de manutenção, que são referidas na Tabela 3.

*Tabela 3 - Tipos de manutenção existentes e suas características*

<b>Tipo de Manutenção</b>	<b>Características</b>
Manutenção corretiva planeada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O gestor já sabe qual o equipamento a intervir;</li> <li>- Necessita de poucos recursos;</li> <li>- Sendo planeado, a existência de falhas é menor;</li> <li>- Elevada rapidez na intervenção;</li> </ul>
Manutenção corretiva não planeada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intervenção já com falha do equipamento;</li> <li>- Inexistência de planeamento, levando a uma intervenção mais lenta;</li> <li>- Implica custos mais elevados, devido sobretudo a quebras de produção sobretudo e a custos indiretos de manutenção;</li> </ul>
Manutenção preventiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realiza check-ups regulares de modo a encontrar possíveis falhas;</li> <li>- Introdução de lubrificações, limpezas, substituição de peças, ajustes;</li> <li>- Existe um plano previamente elaborado, baseados nos intervalos fornecidos pelo fabricante;</li> </ul>
Manutenção Preditiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseada em previsões de quando poderá ocorrer a falha;</li> <li>- Objetivo principal de antecipar falhas e encontrar a raíz dos problemas;</li> <li>- Elimina a necessidade da manutenção corretiva;</li> <li>- Maximiza o tempo de disponibilidade do equipamento;</li> </ul>
Manutenção detetiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Detecção de falhas que não são perceptíveis ao operador, devendo por isso ser usado luzes ou alarmes para sinalização.</li> </ul>
Manutenção centrada na confiabilidade (RCM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Garantir que equipamentos críticos para a produção de uma empresa estejam sempre disponíveis e confiáveis.</li> </ul>
Engenharia de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procura as causas das falhas dos equipamentos, propondo modificações;</li> <li>- Busca aprimorar técnicas;</li> <li>- Interfere tecnicamente nas compras;</li> <li>- Aplicação de novas técnicas.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de (Oliveira, 2015)

### 2.4.1. Indicadores de Manutenção

As existências de planos de manutenção requerem informações de desempenho dos equipamentos, de modo a identificar os “*bottleneck*”, isto é, pontos críticos que estão a causar problemas e os que futuramente irão falhar. Assim é necessário indicadores de manutenção capazes de traduzir o comportamento dos equipamentos e sistemas de produção ao longo do seu funcionamento, bem como eventuais falhas que poderão prevenir. Alguns dos indicadores mais usados são apresentados a seguir, sendo eles os seguintes (Oliveira, 2015):

- Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)
- Tempo Médio Para Reparações (MTTR)
- Disponibilidade (DISP)
- Confiabilidade (CONF)

#### o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)

MTBF do Inglês “*Mean Time Between Failures*” que traduzido para o português significa o tempo médio entre falhas, é um dos indicadores mais importantes para a manutenção, pois mede a confiabilidade do equipamento.

Considera-se como tempo total, o tempo em que esse equipamento estaria efetivamente em funcionamento, englobando alguma paragem não programada.

A Equação (1) apresenta como o cálculo do MTBF é realizado:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (1)$$

#### o Tempo Médio Para Reparações (MTTR)

MTTR do Inglês “*Mean Time to Repair*”, traduzido para o português significa o tempo médio para reparações, indica o tempo médio que o equipamento se encontra parado devido à intervenção realizada.

A Equação (2) apresenta como o cálculo do MTBF é realizado:

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (2)$$

- **Disponibilidade**

Este é um indicador é essencial para o planeamento da manutenção, pois no caso de ocorrência de falhas por parte de equipamentos, as perdas financeiras para a produção são enormes.

Segundo o autor Branco (2015), o indicador disponibilidade é definido como a probabilidade de um equipamento se encontrar disponível para operar no momento que for requisitado para operar.

Para calcular o indicador disponibilidade (DISP), divide-se o MTBF, pela soma do MTBF pelo MTTR, indicando o tempo total que o equipamento esteve indisponível para a manutenção atuar. Resumindo, indica a disponibilidade percentual que o equipamento esteve ao dispor da produção, aumento essa percentagem quanto menos intervenções por parte da manutenção sobre o equipamento.

As Equações (3) e (4) apresentam como o cálculo da disponibilidade é realizado:

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \% \quad (3)$$

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo de disponibilidade do equipamento}}{\text{Tempo indisponível do equipamento}} \times 100 \% \quad (4)$$

Sendo que:

MTBF – Tempo médio entre falhas

MTTR – Tempo médio para reparações

- **Confiabilidade**

A confiabilidade é compreendida como a capacidade de um determinado equipamento apresentar-se disponível sob determinadas condições e durante um período de tempo definido sem que ocorra a sua falha. Desta forma, é de extrema importância priorizar os esforços e a atuação da equipa de manutenção, de modo a contribuir para que os ativos continuem a desempenhar as suas funções.

Segundo Lima Junior & Rodrigues (2022), o maior ganho da Manutenção centrada na confiabilidade (MCC) é quando existe um excesso de manutenções preventivas bem como um grande histórico das manutenções corretivas efetuadas. Isto contribui com a redução de manutenções preventivas desnecessárias ou para reduzir o número de manutenções corretivas indesejáveis. De outra forma segundo o mesmo autor, a MCC pode ser descrita pelas quatro características apresentadas a seguir:

- Preservação das funções;
- Identificação dos modos de falhas que prejudicam o seu funcionamento;
- Priorização das funções necessárias, aplicando o modo de falhas;
- Escolha de uma tarefa aplicável e efetiva;

## **CAPÍTULO 3. CASO DE ESTUDO NA LUSO FINSA**

Neste capítulo estabelecer-se-á o enquadramento industrial, será feita uma apresentação da empresa, a contextualização do projeto e do seu principal objeto de estudo deste projeto, os planos de lubrificação.

### **3.1. Apresentação da Empresa**

A Finsa é uma empresa multinacional espanhola com sede atualmente em Santiago de Compostela. Começou a sua atividade no início do século XX como uma pequena serração em Portanxil (Corunha). Desde 1931, que mantém um crescimento sustentável baseado no compromisso e lealdade com princípios e valores como o respeito mútuo e o esforço em grupo. Com o intuito de reutilizar a madeira, começaram a utilizar resíduos de outras atividades para a produção do painel de aglomerado. Foi pioneira no fabrico de painéis de MDF (*Medium- Density Fiberboard*) na Península Ibérica, sendo atualmente uma referência mundial.

O SuperPan é uma inovação patenteada pelo grupo *Finsa S.A., Financiera Maderera*, produzida na unidade fabril de Nelas. Este produto permite combinar algumas das principais vantagens e propriedades técnicas dos painéis de MDF e Aglomerado, oferecendo boas propriedades físicas e mecânicas.

Ao longo das duas últimas décadas tem investido fortemente em novas tecnologias, com apoio à manutenção, e sobretudo à produção. Com estas tecnologias pôde ainda acompanhar em tempo real a deslocação de todos os seus produtos desde a saída da fábrica até ao consumidor.

### **3.2. Biomassa Utilizada para a Produção de Energia Térmica**

Num estudo realizado por Brand (2007), concluiu-se que a melhor época de colheita da biomassa é na Primavera e Verão, no entanto o uso da biomassa recém colhida não é o mais indicado, devido ao elevado teor de humidade presente na biomassa. Quanto à época de armazenamento, caso a biomassa seja recolhida no inverno ou na primavera, permanecendo em stock durante todo o Verão, o teor de humidade diminuiu substancialmente.

Outro estudo foi apresentado pelo Engenheiro João Aires da empresa Luso Finsa no qual foram analisados vários tipos de biomassa utilizados nas caldeiras da empresa, sendo apresentadas as características na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos diversos combustíveis sólidos

<b>Tipo de combustível</b>	<b>Humidade (%)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PCI (kJ/kg)</b>
Estilha de Biomassa Florestal (EBF)	48,9	0,828	8525
Black Dust (BD) – Fibra de madeira rejeitada do processo produtivo	8,1	0,13267	16494
Fibra de Pinho (FiP)	60,6	0,1106	5667
Estilha de Biomassa Reciclada (EBR)	23,7	0,1303	13039
Placa Rejeitada	16,2	0,1359	14977
Finos	18	0,1347	13983
Pó de Crivas	4,4	-	16407
SuperPan de Pinho	4,5	-	16835
Pó de Fimapan	4,8	-	16385
Pó de MDF	6,1	-	16207
Pó de Eucalipto	5,8	-	15570

Fonte: (Pereira, 2022)

O procedimento para os ensaios foram os seguintes:

*“A avaliação do poder calorífico superior (PCS) consiste na determinação da energia libertada sob a forma de calor num processo de combustão em que se admite que a água presente nos produtos de combustão se encontra no estado líquido. A oxidação ocorre numa atmosfera rica em oxigénio e o calor libertado é determinado através do aquecimento provocado em 2 kg de água destilada que envolvem a bomba de oxigénio. O PCS foi determinado com correções relativas, nos produtos de combustão, à quantidade de ácido nítrico formado (utilizando uma solução de 0,0709N) e sem correções relativas à quantidade de sulfatos formados.”* (Pereira, 2022).

As análises para a determinação da densidade, do teor de humidade e do PCI, foram realizadas pelo calorímetro Parr 1341, bomba de oxigénio Parr 101A C20 020408 M18250 e ainda a balança Mettler AE240.

Conclui-se que o valor do PCI está relacionado com o teor de humidade presente na biomassa.

### **3.3. Geração de Energia Térmica a partir de Caldeiras de Biomassa Oleotubulares**

O elevado consumo de energia térmica, obriga a que a Luso Finsa possua mais que uma caldeira para o seu normal funcionamento. Estas caldeiras transformam a energia primária, através da queima de um combustível, em energia secundária sob a forma de gases ou então através da transferência de energia para um fluído, neste caso desta caldeira é o óleo térmico.

As caldeiras são apresentadas por três grandes grupos, começando com a alimentação de combustível, a combustão e por último a recolha de cinzas.

A sua principal fonte energética é proveniente de resíduos florestais sendo a biomassa armazenada num curto período de tempo para futura utilização através do processo de combustão.

O processo de alimentação é realizado com o auxílio de máquinas que transportam a biomassa a ser utilizada para a produção de energia, para uns arrastadores sendo estes acionados quatro cilindros hidráulicos que puxam a biomassa para cima de uma cinta de borracha.

A cinta transporta a biomassa até a um separador de paus, que como o nome indica irá separar toda aquela biomassa que posteriormente poderia causar estrangulamentos ficando presa, e assim poria em causa a continuação da alimentação da caldeira. A cinta ainda acaba por passar por um magnético, em que tem como função a deteção de metais, retirando para um depósito os materiais ferrosos. A biomassa quando passa por estes dois processos está pronta para entrar na caldeira e assim sofrer a combustão, assim continua a viagem através de redlers cuja função é a mesma que a cinta, no entanto são constituídos por correntes e pás.

Os redlers transportam essa biomassa para uma válvula rotativa, que acaba por dosear a quantidade de biomassa que chega a oito sem-fins, prevenindo que a quantidade de material que chega seja menor ou igual ao que os sem-fins conseguem transportar, caso não acontecesse resultaria numa obstrução e por consequência a paragem total da caldeira. Estes sem-fins doseiam a quantidade de material para a câmara de combustão, dependendo da demanda da quantidade de energia térmica que a fábrica necessita para os seus processos.

No interior da câmara de combustão, logo acima da zona de queima, na chamada garganta da câmara existem tubagens que transportam óleo térmico. Os gases libertados pela queima circulam por fora dos tubos numa direção de contracorrente, fazendo a permuta de energia na forma de calor para o óleo térmico, saindo por volta dos 280°C. Os gases, no entanto, não são desperdiçados, entram noutros permutadores de calor, permitindo fazer a transferência de calor para o óleo térmico que aí circula. Depois de os gases serem lançados para o plenum da fábrica, esses gases irão juntar-se com outros gases das outras caldeiras que funcionam em paralelo. Este calor é utilizado no secador de fibra, como o próprio nome indica, serão usados para secar a fibra que contém um teor de humidade elevado para o processo necessário. Só a partir deste ponto é que os gases são libertados diretamente para a atmosfera. A cinza formada dentro da câmara de combustão é libertada através das grelhas, que ao moverem-se empurram essa cinza para um fosso, onde se encontra um redler transportador de cinza. Esta cinza é transportada até um local onde mais tarde irá um operador com uma máquina de pá carregadora, levando esta cinza para um local destinado para a recolha pelas entidades competentes.

Na Tabela 5 são apresentados de forma, resumida, os produtores de energia secundária na forma de vapor, gases ou óleo térmico.

*Tabela 5 - Produtores de Energia Térmica*

<b>Produtor de energia secundária</b>	<b>Energia Primária</b>	<b>Fluído térmico gerado</b>
Caldeira I	Biomassa	Óleo térmico e gases
Caldeira II	Biomassa	Óleo térmico e gases
Caldeira III	Gás Natural	Vapor e gases
Caldeira IV	Gás Natural/Pó	Óleo térmico e gases
Caldeira Vyncke	Biomassa/Pó/Rejeitados	Óleo térmico e gases
Geradores de Vapor	Óleo Térmico	Vapor

*Adaptado:(Lopes, 2014)*

### **3.3.1. Utilização da Energia Térmica**

De um modo geral foi explicado como é o funcionamento deste tipo de caldeiras alimentadas por biomassa, neste capítulo é descrito como a energia é utilizada dentro desta fábrica. Começando pelo óleo térmico, este sairá da caldeira por volta dos 280°C, sendo bombeado em tubagens, para os geradores de vapor e prensas. Os geradores de vapor são apenas reservatórios de água desmineralizada sob pressão, com um

determinado volume, contendo no seu interior serpentinas industriais com óleo térmico. A água quando em contacto com essas serpentinas evapora, sendo usada para a produção de painéis.

Esta fábrica é a única mundialmente que utiliza vapor na prensa para a produção do MDF, cozendo a fibra e ao mesmo tempo permite que a cola usada reaja mais rapidamente, permitindo uma poupança significativa da quantidade de cola usada em cada painel, em comparação com a realização de um painel sem o uso de vapor.

O óleo térmico arrefecido depois de utilizado nos vários processos, é encaminhado novamente para o interior das caldeiras, formando um circuito fechado, voltando a fazer este ciclo as vezes que forem necessárias. O restante óleo térmico que é aquecido e que não passa pelos geradores de vapor é usado noutros processos que a fábrica possui. Pode ser usado pela prensa da linha de SuperPan, como descrito no capítulo anterior, este é um produto que combina as características do MDF e Aglomerado.

Outra quantidade de óleo térmico é enviado para a linha de melaminas, no qual existem prensas que usam apenas a temperatura desse óleo térmico para fazerem reagir as resinas endurecedoras.

### **3.4. Situação Atual da Caldeira**

A caldeira Vyncke é relativamente nova e atual, com apenas 7 anos, sendo bastante informatizada. A avaliação da situação atual da caldeira é fundamental para melhor compreender o seu comportamento, através da análise dos dados recolhidos em cada mês de operação.

A análise iniciou-se em julho de 2022, não tendo em conta agosto nem dezembro, visto que nestes meses coincidem com uma paragem anual mais prolongada para manutenção. Ao longo dos meses seguintes, existiram algumas paragens pontuais, no entanto, insignificantes uma vez que apenas duraram um ou dois dias no máximo. Em outubro existiu uma paragem de uma semana e, portanto, foi necessário desconsiderar esse período para efeitos de cálculos de médias. Na figura 2 é apresentado o esquema geral do fluxo de óleo térmico da caldeira em estudo na Luso Finsa.

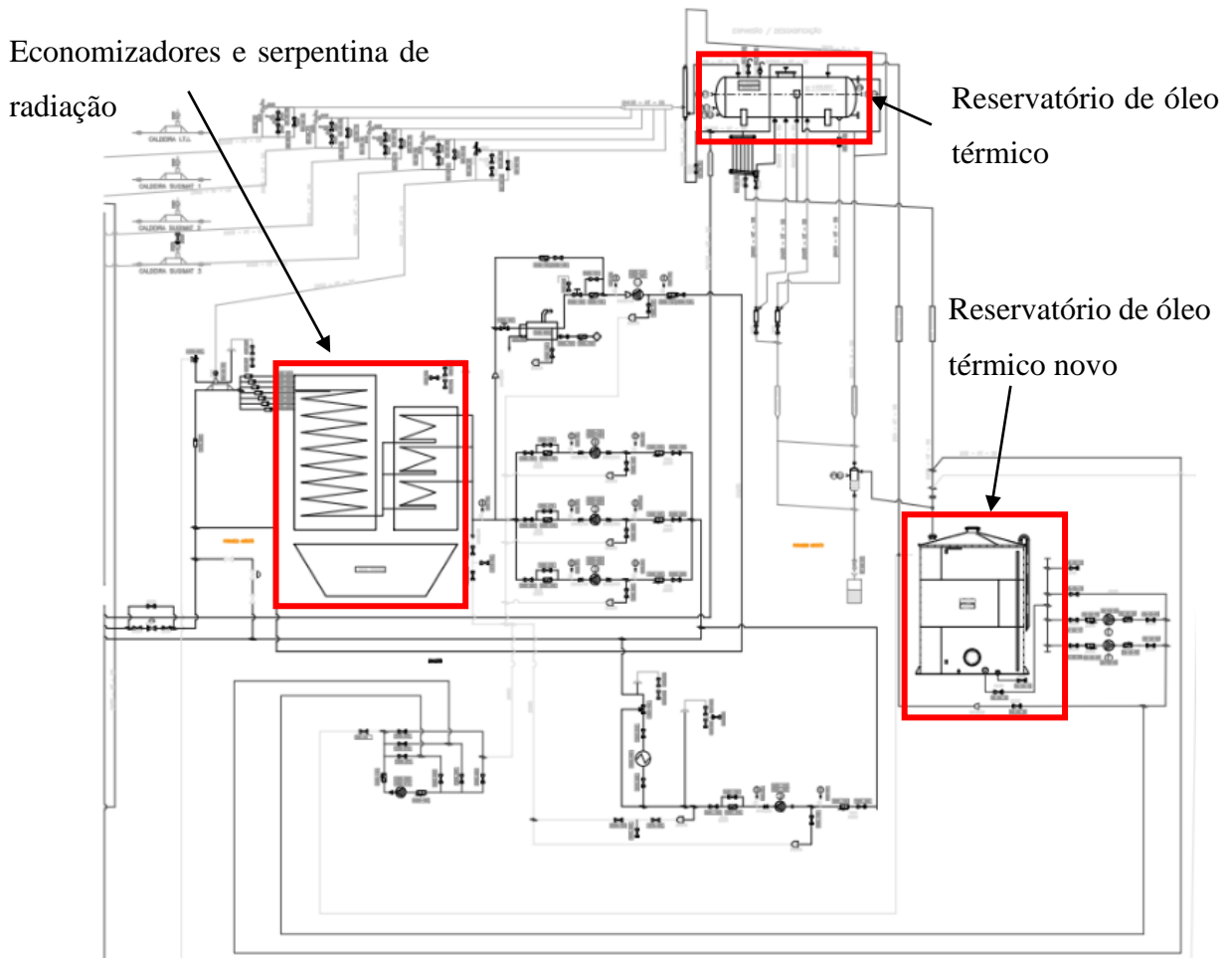


Figura 2 - Diagrama de fluxo de óleo térmico da Caldeira em estudo (Luso Finsa 2023)

### 3.5. Características do Óleo Térmico e sua Temperatura

O óleo térmico é um recurso extremamente importante para operação da fábrica, pois é através dele que as linhas de produção obtêm a energia térmica necessária para utilizar nas prensas hidráulicas.

Na Tabela 6, são apresentadas as características do óleo térmico usado na fábrica:

*Tabela 6 - Características do óleo térmico CEPSA DIATERMO 22*

Características	Unidades	Norma	CEPSA DIATERMO 22
Grau ISO			22
Densidade a 15 °C	kg/l	ASTM D-4052	0,869
Ponto de Inflamação V/A	°C	ASTM D-92	216
Ponto de congelação,	°C	ASTM D-5950	-18
Viscosidade a 100 °C	cSt	ASTM D-445	4,26
Viscosidade a 40 °C	cSt	ASTM D-445	22,14
Índice de Viscosidade	IV	ASTM D-2270	95
Destilação (5%)	°C	ASTM D-1160	360

Segundo as especificações técnicas colocadas à disposição pelo fornecedor, a temperatura máxima a que este óleo consegue transferir energia na forma de calor sem alterar as suas propriedades químicas e mecânicas, é de 315 °C.

A análise das temperaturas do óleo térmico realizadas em cada mês, é essencial para verificar o seu estado, se todas as suas propriedades estão dentro dos parâmetros considerados ótimos de funcionamento. Estas análises permitem ainda dar uma segurança extra a toda a tubagem e à própria caldeira, pois com o ciclo de aquecimento e arrefecimento, este óleo pode começar a aumentar a sua acidez, elevando o risco de corrosão dos metais ferrosos.

No caso da caldeira, a análise do saldo térmico permite compreender o estado da caldeira, isto porque, através do salto térmico consegue-se perceber o estado dos economizadores, se existe a necessidade de alguma intervenção, neste caso uma limpeza. Portanto é sempre importante começar uma avaliação da caldeira pelo salto térmico. Na Tabela 7 apresentada a seguir, são referenciadas as temperaturas médias de entrada e saída da caldeira ao longo de cada mês. Esta análise começa em julho do ano 2022 até ao mês de julho de 2023.

Tabela 7 - Temperaturas de entrada e saída de óleo térmico da caldeira de biomassa

	Meses	Entrada de óleo na caldeira	Saída de óleo da caldeira	Diferença entre a saída e entrada do óleo térmico $\Delta T$ (°C)
2022	Julho	257	276	19
	Setembro	247	267	20
	Outubro	250	270	20
	Novembro	229	251	22
2023	Janeiro	236	262	26
	Fevereiro	245	272	27
	Março	248	276	28
	Abril	253	275	22
	Maior	246	270	24
	Junho	253	274	21
	Julho	255	279	24

Ao analisarmos a Tabela 7 verifica-se que os valores de temperatura média na entrada e na saída do óleo térmico se encontram estabilizados. A temperatura da saída do óleo é dos fatores mais importantes, isto porque, é através dele que irá ser transportada toda a energia, na forma de calor para as necessidades da fábrica.

De modo a entender a necessidade de uma limpeza nos permutadores de óleo térmico da caldeira, será necessário avaliar a diferença entre as temperaturas de entrada e saída  $\Delta T$  (°C), como mostrado na Figura 3. É necessário ter em conta que as temperaturas de entrada do óleo na caldeira, diminuem durante o Inverno.

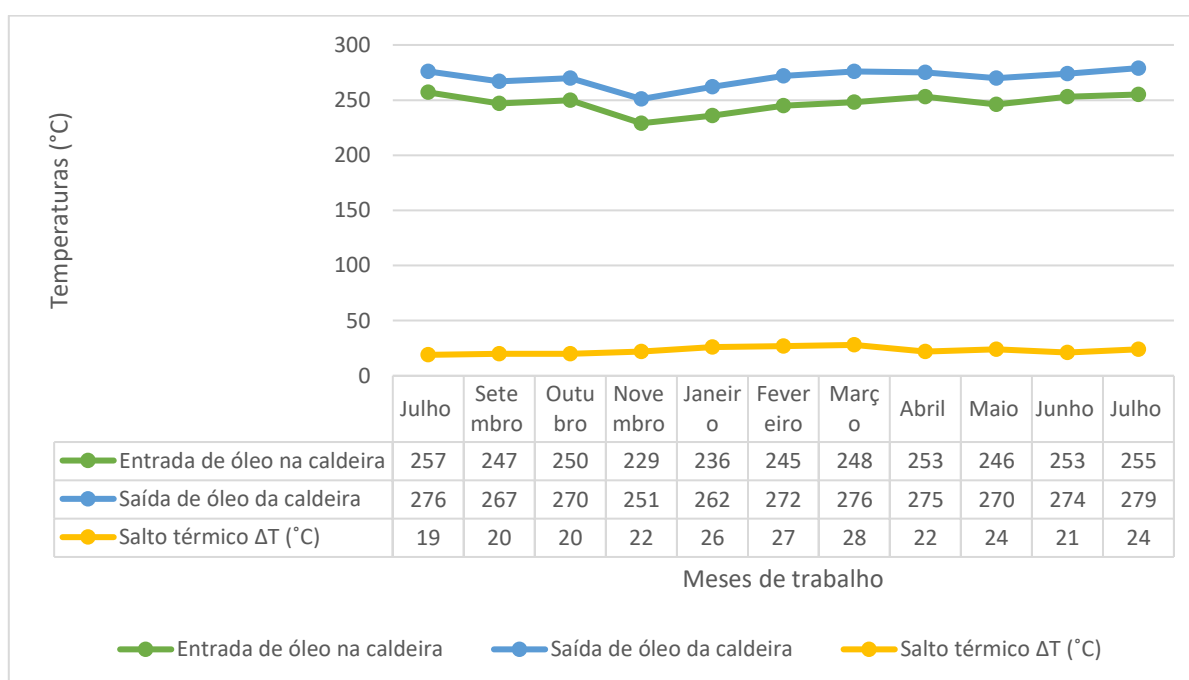


Figura 3 - Temperaturas de entrada e saída de óleo térmico ao longo de um ano

### 3.6. Temperaturas de Gases à Saída da Câmara de Combustão para a Câmara de Convecção

A câmara de convecção é usada para a permuta de calor entre os gases provenientes da combustão para o óleo térmico. Para a existência de uma melhor permuta, a circulação dos gases de exaustão e do óleo térmico é feita em sentidos opostos, conhecida como contracorrente. A temperatura de exaustão dos gases é medida através de uma sonda, conhecida como termopar tipo K, localizada imediatamente à saída do queimador de pó. Na Tabela 8 são apresentados os valores médios de temperatura, medidos em cada mês.

A nível de produção estes valores de temperatura são ótimos, pois, consegue-se uma melhor secagem da fibra usada para a produção de painel de MDF.

*Tabela 8 - Temperatura média dos gases à saída da caldeira*

Ano	Meses	Temperatura média dos gases (°C)
2022	Julho	791
	Setembro	793
	Outubro	800
	Novembro	746
2023	Janeiro	840
	Fevereiro	862
	Março	878
	Abril	853
	Maiο	844
	Junho	830
	Julho	873

### 3.7. Pressões da Câmara de Combustão medidas na saída da combustão

As pressões da câmara de combustão numa caldeira para a combustão de biomassa são bastante importantes de modo a conseguir-se uma queima controlada, possibilitando uma melhoria da eficiência da caldeira. Para a produção dessas pressões negativas (Tabela 9), maiores ou menores, só são possíveis através do controlo das velocidades dos ventiladores de ar primário, ar secundário e do ventilador de tiro.

Quando necessitam que a pressão negativa seja baixa, diminuem a velocidade do ventilador de tiro e aumentam a velocidade do ventilador de ar primário ou secundário. Quando é necessária uma pressão negativa maior, diminui-se a velocidade do ventilador de ar primário ou secundário e aumenta-se a velocidade do ventilador de tiro. O controlo das pressões na câmara de combustão é bastante importante para garantir uma combustão homogénea e completa.

Na Tabela 9, são apresentadas as pressões médias da câmara de combustão usadas em cada mês. Analisando os valores da tabela é possível constatar de imediato a partir de novembro a pressão é praticamente metade da usada nos meses anteriores. Isto deveu-se à implementação de um variador de velocidade de modo a controlar a velocidade do ventilador de tiro dos gases de exaustão.

*Tabela 9 - Pressões médias medidas na câmara de combustão*

Ano	Meses	Pressões médias da câmara de combustão (Pa)	Intervenção do variador de velocidade
2022	Julho	-408	Sem variador de velocidade
	Setembro	-407	
	Outubro	-407	
	Novembro	-254	Utilização do variador de velocidade
2023	Janeiro	-243	
	Fevereiro	-244	
	Março	-254	
	Abril	-267	
	Maió	-240	
	Junho	-248	
	Julho	-251	

O controlo do ventilador de tiro dos gases de exaustão, permite controlar melhor a temperatura da câmara de combustão, isso acontece, porque num caso em que seja necessário aumentar a temperatura da câmara de combustão, diminui-se a velocidade do ventilador. O ar proveniente do exterior da câmara de combustão quando em excesso não participa na queima, levando ao arrefecimento. Esse ar em excesso dentro da câmara de combustão irá absorver o calor proveniente da reação, sendo libertado para o processo ou para a atmosfera dependendo das necessidades da fábrica.

Em relação ao consumo do ventilador em energia elétrica será menor devido ao uso do variador de velocidade. Quanto maior for a velocidade em rpm do ventilador de modo a aumentar a depressão da caldeira, maior será o seu consumo. Caso não seja necessária uma depressão alta dentro da câmara de combustão, o ventilador estaria na sua potência máxima, isto sem o uso do variador de velocidade, provocando uma diminuição da temperatura da câmara e em consequência a diminuição do rendimento da caldeira.

### 3.8. Caudal Volúmico de Óleo Térmico medido por caudalímetros

Na Tabela 10 é apresentado o caudal volúmico de óleo térmico em  $m^3/h$  para cada mês de operação da caldeira.

*Tabela 10 - Caudal volúmico de óleo térmico que circula dentro da caldeira*

Ano	Meses	Caudal Volúmico Médio de óleo térmico ( $m^3/h$ )
2022	Julho	1117
	Setembro	1122
	Outubro	1120
	Novembro	1124
2023	Janeiro	1092
	Fevereiro	1125
	Março	1121
	Abril	1113
	Maio	1123
	Junho	1110
	Julho	1108

### 3.9. Temperaturas da Água de Circulação na Câmara de Combustão

O mês de agosto e de dezembro não serão considerados, devido à caldeira se apresentar em manutenção.

Toda a câmara de combustão, bem como os suportes das grelhas são refrigerados através da água. A água circula através de tubos, retirando calor dos suportes das grelhas e do resto da câmara de combustão, aumentando a sua temperatura. Esta energia é utilizada posteriormente para pré-aquecer o ar de combustão que entra na câmara. Isto

permite que a caldeira mantenha uma temperatura segura, evitando a fusão da estrutura da câmara de combustão.

Na Tabela 11, encontram-se os valores de temperatura média da água de refrigeração em cada mês de operação da caldeira.

*Tabela 11 - Temperatura média da água de refrigeração*

Ano	Mês de funcionamento	Temperatura média (°C)
2022	Julho	105
	Setembro	95,8
	Outubro	68,6
	Novembro	89,8
2023	Janeiro	90,85
	Fevereiro	96,1
	Março	64,4
	Abril	95,55
	Maio	95,3
	Junho	95,6
	Julho	97,1

A energia contida na água de refrigeração é transferida para o ar primário através de permutadores, sendo transportada para a câmara de combustão. Isto permite que a temperatura na câmara de combustão se mantenha constante. Se em vez de entrar ar primário aquecido na câmara de combustão entrasse ar primário à temperatura ambiente, a temperatura da câmara de combustão arrefeceria bruscamente. Esta diminuição da temperatura iria aumentar o consumo de biomassa para manter a temperatura do óleo térmico.

## CAPÍTULO 4. ESTUDO DA CALDEIRA DE BIOMASSA

As especificações técnicas fornecidas pelo manual do fabricante (Tabela 12), indicam que a caldeira pode produzir uma potência de 43,4 MW de energia térmica. Este valor é referente à capacidade de queima teórica disponível, sendo esta energia considerada utilizando os queimadores em separado, isto é, apenas um ou dois queimadores em funcionamento juntamente com a queima nas grelhas ao invés de utilizar todos os queimadores em conjunto.

Os queimadores utilizados para produzir a energia térmica são os de Wet-Dust, os de Black-Dust e um queimador de pó de madeira (proveniente das lixadoras de painel acabado). Para além destes queimadores, existe produção de energia térmica através da combustão de biomassa nas grelhas da câmara de combustão da caldeira. No entanto estes sistemas de queima, quando combinados, apenas podem fornecer na sua máxima capacidade 41,7 MW de energia térmica. Devido à interferência na queima que estes sistemas influenciam na combustão de cada um.

*Tabela 12 – Potências nominais da caldeira VYNCKE e outras especificações*

Óleo térmico	23,0 MW
Gases de exaustão (380 °C)	26,3 MW
Água aquecida	2,9 MW
Produção total de energia líquida	41,7 MW
Eficiência	97%
Produção total de energia bruta	43,4 MW

*Fonte: Manual VYNCKE*

Quando a temperatura da câmara de combustão ultrapassa os 1000 °C, a programação da caldeira atua, diminuindo a entrada de ar primário, ou seja, diminuiu a velocidade do ventilador de ar primário bem como o de secundário. Deste modo permite que a chama deixe de ser alimentada com novo ar, resultando numa diminuição da intensidade de queima.

Num contexto de funcionamento real as condições não são as ideais, variando vários fatores, como é o caso do teor de humidade e a granulometria da biomassa.

Na tabela 12 o fabricante indica que a caldeira consegue obter uma eficiência de 97%, produzindo gases de exaustão a uma temperatura média de 805 °C, o que representa em termos energéticos 26,3 MW teóricos. Isto acontece em condições ideais, com a biomassa de boa qualidade e sobretudo com um reduzido teor de humidade em cerca de 6%. Estes gases de exaustão são aproveitados na secagem de várias matérias-primas nos processos produtivos da fábrica.

O óleo térmico quente proveniente da caldeira é usado como fluido para a transferência de calor pela fábrica. Segundo o fabricante (Tabela 12), esta caldeira consegue transferir 23,0 MW de energia térmica para o óleo térmico. Na realidade essa potência não é atingida, devido a variabilidades na qualidade da biomassa, na temperatura externa, e no teor de humidade presente na biomassa.

Todos os valores fornecidos pelo fabricante são baseados nas normas europeias ISO9001:2015-standard e na ISO45001:2018-standard.

Ao analisar o histórico da caldeira através da plataforma informática, Grafana, e ao utilizar esses dados para o cálculo do rendimento real, verifica-se que as perdas energéticas são ligeiramente maiores do que as especificadas pelo fabricante. Para estes cálculos, os dados são referentes ao mês de janeiro de 2023, pois foi o mês em que a caldeira trabalhou interruptamente.

#### **4.1. Cálculos das Potências Produzidas pela Caldeira**

##### **4.1.1. Potência Térmica Absorvida pela Água**

O cálculo seguinte tem como unidades o metro cúbico/hora normal, pelo que será necessário obter valores da massa volúmica e do calor específico a pressão constante para cada temperatura. Para obter esses valores serão utilizados os dados do livro (Çengel & Boles, 2006), apresentados na Tabela 13. O caudal volúmico é medido através de caudalímetros ao longo da tubagem.

Tabela 13 - Potência térmica real absorvida pela água

$T_{\text{água entrada}}$	85,8	°C
$T_{\text{água saída}}$	95,9	°C
$\dot{V}_{H_2O}$	100	$Nm^3/h$
$\rho_{H_2O@90,85^\circ C}$	964,77	$kg/m^3$
$cp_{H_2O@90,85^\circ C}$	4,20	$kJ/kg \cdot K$

As Equações (5) e (6) foram utilizadas para os cálculos da potência térmica absorvida pela água:

$$\dot{m}_{H_2O} = \rho_{H_2O} \times \dot{V}_{H_2O} \left[ \frac{kg}{s} \right] \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{H_2O} = \dot{m}_{H_2O} \times cp_{H_2O@90,85^\circ C} \times \Delta T [kW] \quad (6)$$

Substituindo as variáveis por valores numéricos obtemos os resultados apresentados na Tabela 14:

Tabela 14 - Resultados para a potência real absorvida pela água

$\dot{m}_{H_2O}$	26,80	$kg/s$
$\dot{Q}_{H_2O}$	1136,9	kW

#### 4.1.2. Potência de aquecimento do Óleo Térmico

Neste subcapítulo é essencial a determinação da potência transferida pela caldeira para o óleo. Para que os cálculos sejam otimizados, mais próximos da realidade, as obtenções dos dados fornecidos pelo fabricante CEPSA (Anexo A01) acabam por serem determinantes. Primeiro é necessário calcular o calor específico do óleo térmico à temperatura média em cada mês. O cálculo seguinte é apenas um exemplo de como é calculada a potência gasta em cada mês, neste caso no mês de janeiro de 2023. A tabela 15 apresenta as condições do óleo térmico no mês de janeiro de 2023.

Tabela 15 – Características do óleo térmico

$T_{\text{óleo entrada}}$	236	°C
$T_{\text{óleo saída}}$	262	°C
$\dot{V}_{\text{óleo}}$	1092	$m^3/h$
$\rho_{\text{óleo @ } 249^\circ C}$	721,2	$kg/m^3$
$cp_{\text{óleo @ } 249^\circ C}$	2,6655	$kJ/kg \cdot K$

As Equações (7) e (8) utilizadas para os cálculos da potência térmica absorvida pelo óleo térmico foram as seguintes:

$$\dot{m}_{\text{óleo}} = \rho_{\text{óleo}} \times \dot{V}_{\text{óleo}} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{\text{óleo}} = \dot{m}_{\text{óleo}} \times c_{p\text{óleo}} \times \Delta T_{\text{óleo}} [MW] \quad (8)$$

No que toca às propriedades do óleo térmico, primeiramente será necessário calcular a temperatura média do mesmo, de modo a obter o cp e a massa volúmica (Equações (9), (10) e (11)).

$$\bar{T} = 249 [^{\circ}C] \quad (9)$$

$$c_{p\text{óleo}@249^{\circ}C} = 2,6655 \left[ \frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \quad (10)$$

$$\rho_{\text{óleo}@249^{\circ}C} = 721,2 \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (11)$$

Substituindo as variáveis pelos valores numéricos obtemos os resultados apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Potência real absorvida pelo óleo térmico

$\dot{m}_{\text{óleo}}$	218,75	kg/s
$\dot{Q}_{\text{óleo}}$	15,16	MW

#### 4.1.3. Potência Fornecida pela Biomassa

O Poder Calorífico Inferior (PCI) utilizado para o cálculo da potência fornecida pela biomassa, é proveniente dos ensaios de Calorimetria efetuados pela Universidade de Coimbra (Pereira, 2022), a pedido da Luso Finsa (Tabela 17).

Tabela 17 - Equipamentos utilizados para os ensaios de calorimetria da biomassa e condições de ensaio

Equipamento utilizado	Calorímetro: Parr 1341
	Bomba de oxigénio: Parr 101 A C20 020408 M18250
	Balança: Mettler AE240
Condições de ensaio	Pressão de Oxigénio: 20 bar $\pm$ 0,5 bar.
	Massa de água destilada: 2000g $\pm$ 0,5g.

Os cálculos para a determinação das propriedades das biomassas utilizadas na caldeira de biomassa, foram efetuados considerando Estilha de Biomassa Reciclada (EBR), Estilha de Biomassa Florestal (EBF) e Placa Rejeitada apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Propriedades da EBF, EBR e da Placa Rejeitada

$PCI_H$ EBF	8525	$kJ/kg$
$PCI_H$ EBR	13039	$kJ/kg$
$PCI_H$ Placa Rejeitada	14977	$kJ/kg$
$\dot{m}_{Biomassa}$	6033	$kg/h$
Teor de humidade (EBR)	23,7	%
Teor de humidade (EBF)	48,9	%
Teor de humidade (Placa Rejeitada)	16,2	%

A Equação (12) foi utilizada para os cálculos da potência térmica fornecida pela biomassa.

$$\dot{Q}_{Biomassa} = \dot{m}_{Biomassa} \times PCI_H \quad (12)$$

Substituindo as incógnitas por valores numéricos obtemos os valores explicitados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados reais para a potência resultante da combustão da biomassa

$\dot{m}_{Biomassa}$	1,676	$kg/s$
$\dot{Q}_{Biomassa}$	22,719	MW

#### 4.1.4. Potência Fornecida pela Fibra “Wet-Dust”, pela Fibra “Black-Dust” e pelo pó das lixadoras/crivas

Esta caldeira é alimentada por mais três combustíveis, nomeadamente o Wet-Dust, Black-Dust e o pó das lixadoras. O Wet-Dust é constituída pela fibra de madeira rejeitada do superPan, o Black-Dust pelas aspirações da limpeza da madeira reciclada e por último, o pó utilizado no queimador é proveniente da lixagem dos painéis. Na ocorrência de uma rejeição de manta de fibra, estes tipos de biomassa não poderão voltar ao processo produtivo, sendo então encaminhados para silos onde são armazenados e posteriormente transportados para os respetivos queimadores na caldeira VYNCKE. Os poderes caloríficos apresentados na Tabela 20, são propriedades dos combustíveis

analisados pela Universidade de Coimbra (Anexo 11). O caudal mássico do combustível Wet-Dust, do Black-Dust e do pó das lixadoras/crivas é proveniente do software informático utilizado na empresa, em que consiste apresentar todos os dados em tempo real.

Tabela 20 - Dados reais do PCI e do caudal mássico do Wet-Dust, do Black-Dust e do pó das crivas

$PCI_H$ Wet-Dust	12748	$kJ/kg$
$\dot{m}_{Wet-Dust}$	982,6	$kg/h$
$PCI_H$ Black-Dust	16494	$kJ/kg$
$\dot{m}_{Black-Dust}$	843	$kg/h$
$PCI_H$ pó crivas	16407	$kJ/kg$
$\dot{m}_{pó crivas}$	1006	$kg/h$

As Equações (13) , (14) e (15) utilizadas para os cálculos da potência térmica fornecida por estes combustíveis foram as seguintes:

$$\dot{Q}_{Wet-Dust} = \dot{m}_{Wet-Dust} \times PCI_H [MW] \quad (13)$$

$$\dot{Q}_{Black-Dust} = \dot{m}_{Black-Dust} \times PCI_H [MW] \quad (14)$$

$$\dot{Q}_{pó crivas} = \dot{m}_{pó crivas} \times PCI_H [MW] \quad (15)$$

Na tabela 21 são apresentadas as potências fornecidas pelos combustíveis Wet-Dust, Black- Dust e pó das crivas.

Tabela 21 - Dados reais da potência fornecida pelo Wet-Dust, pelo Black-Dust e pelo pó das crivas

$\dot{Q}_{Wet-Dust}$	3,479	MW
$\dot{Q}_{Black-Dust}$	3,862	MW
$\dot{Q}_{pó crivas}$	4,585	MW

#### 4.1.5. Potência Libertada para os Gases de Combustão

Para o cálculo do caudal volúmico dos gases de combustão, considera-se que o gás que sai em maior quantidade é o ar. Para efeitos de cálculo considera-se ainda que o caudal de ar primário juntamente com o caudal de ar secundário fornecidos pelos respetivos ventiladores é igual ao caudal de gases de combustão que saem pelo ventilador de tiro. Para obter esses valores serão utilizados os dados do livro (Çengel & Boles, 2006), apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Potência libertada para os gases de combustão

$cp_{gases}$	1,11	$kJ/kg \cdot K$
$\dot{V}_{gases}$	48169	$m^3/h$
$P_{gases}$	0,2430	kPa
$R_{gases}$	0,2968	$kJ/kg \cdot K$
$T_{gases}$	840	$^{\circ}C$

O ar é considerado como um gás ideal, sendo assim utilizado a equação (18) para efeitos de cálculo. Primeiro é necessário obter-se a potência de gases através da equação (16) e de seguida converter o caudal volúmico de gases para unidade temporal segundos, através da equação (17).

$$\dot{Q}_{gases} = \dot{m}_{gases} \times cp_{gases} \times \Delta T \text{ [MW]} \quad (16)$$

$$\dot{V}_{gases} = \frac{\dot{V}_{gases}}{t \text{ (s)}} \quad (17)$$

$$P_{gases} \times \dot{V}_{gases} = \dot{m}_{gases} \times R \times T_{gases} \quad (18)$$

Na tabela 23 é apresentado os resultados reais calculados para a potência libertada para os gases de combustão.

Tabela 23 - Resultados reais para a potência libertada para os gases de combustão

$\dot{m}_{gases}$	0,0102	$kg/s$
$\dot{V}_{gases}$	13,38	$m^3/s$
$\dot{Q}_{gases}$	10,55	MW

#### 4.2. Potência Real Total

A potência real produzida através da combustão da biomassa ( $\dot{Q}_{Real\ entra}$ ), do Wet-Dust, do Black-Dust e do pó das crivas é apresentada na equação (19). Para a potência real transferida da caldeira através da potência libertada para a água, óleo térmico e através da exaustão dos gases ( $\dot{Q}_{Real\ sai}$ ) é apresentada na equação (20).

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Real\ entra} &= \dot{Q}_{Biomassa} + \dot{Q}_{Wet-Dust} + \dot{Q}_{Black-Dust} + \dot{Q}_{pó\ crivas} \\ &= 34,65 \text{ [MW]} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\dot{Q}_{Real\ sai} = \dot{Q}_{água} + \dot{Q}_{óleo\ térmico} + \dot{Q}_{gases} = 26,85 \text{ [MW]} \quad (20)$$

O rendimento apresentado na caldeira no mês de janeiro de 2023 é calculado através da equação (21).

$$\eta_{real} (\%) = \frac{\dot{Q}_{Real\ sai}}{\dot{Q}_{Real\ entra}} = \frac{26,85}{34,65} = 77,49 [\%] \quad (21)$$

O rendimento apresentado significa que 77,49% da energia que entra na caldeira, é utilizada para o processo.

Da comparação dos valores obtidos para a potência produzida e consumida verifica-se que a caldeira acaba por perder 7,8 MW de energia. A diferença dos valores de energia que entra através da queima de biomassa, Wet-Dust e Black-Dust e a energia que sai através do óleo térmico, pela água e pelos gases, resulta de perdas térmicas sobretudo ao longo dos transportes dos fluidos. O caso do óleo térmico e dos gases, onde existem perdas ao longo do seu percurso desde a caldeira até ao local de consumo, e ainda pelas paredes da própria caldeira juntamente com perdas inerentes à humidade existente na biomassa.

Com este estudo, verificou-se que a manutenção tem um papel fundamental no rendimento da caldeira. Como se pode ver pela Figura 4, nos meses imediatamente a seguir aos meses de manutenção, verificou-se que o seu rendimento aumentou.

		Potência Real Calculada									
		[MW]									
		Q <sub>biomassa</sub>	Q <sub>Wet-Dust</sub>	Q <sub>Black-Dust</sub>	Q <sub>Subproduto</sub>	Q <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Q <sub>óleo térmico</sub>	Q <sub>Gases</sub>	Q <sub>real entrada</sub>	Q <sub>real saída</sub>	η <sub>real</sub> [%]
2022	Julho	16,791	3,48	3,86	6,38	1,12	11,35	10,05	30,51	22,52	73,79725
	Setembro	20,263	3,48	3,86	5,56	1,39	11,99	10,28	33,17	23,66	71,34294
	Outubro	12,962	3,48	3,86	1,44	0,80	13,58	4,70	21,74	19,08	87,7772
	Novembro	19,977	3,48	3,86	3,81	0,90	13,19	9,46	31,13	23,55	75,64195
2023	Janeiro	22,719	3,48	3,86	4,58	1,14	15,16	10,55	34,65	26,85	77,48737
	Fevereiro	21,291	3,48	3,86	5,11	1,33	16,23	11,16	33,74	28,72	85,11828
	Março	19,921	3,48	3,86	5,04	0,21	16,78	12,04	32,30	29,03	89,87127
	Abril	19,175	3,48	3,86	6,50	1,68	13,09	9,74	33,02	24,50	74,21092
	Maiο	17,243	3,48	3,86	7,02	1,28	14,40	11,10	31,61	26,79	84,7463
	Junho	19,104	3,48	3,86	6,04	1,21	12,46	10,63	32,49	24,30	74,81074
	Julho	18,215	3,48	3,86	6,42	1,33	14,22	11,11	31,97	26,65	83,35884

Figura 4 - Aumento do rendimento a seguir às manutenções preventivas

Os rendimentos assinalados a verde-escuro, indicam que os meses de Outubro, Fevereiro, Março, Maio e Julho melhoraram quando foram aplicadas manutenções preventivas à caldeira nos meses imediatamente anteriores. Para esse tipo de manutenções foram aplicadas várias limpezas no interior da câmara de combustão, nos economizadores, na serpentina de radiação, limpezas dos equipamentos e sobretudo

lubrificações. Através do cálculo dos rendimentos ao longo do ano, só realça a elevada importância das manutenções preventivas nos equipamentos.

### 4.3. Variador de Velocidade

Um variador de velocidade consegue reduzir a potência debitada por um motor de indução, graças a uma conversão da frequência da rede de 50 Hz para uma frequência variável dos 0 aos 300 Hz, permitindo deste modo ajustar a velocidade do motor de forma proporcional com a frequência fornecida.

Em contexto industrial, a introdução variador de velocidade, permite uma poupança significativa nos gastos energéticos, bem como na manutenção do equipamento, uma vez que, o arranque passa a ser suave, diminuindo o stress mecânico nos arranques, permitindo ainda o controlo da aceleração e dispensando a compensação do fator de potência.

No contexto de empresa, o valor total da aquisição e montagem do variador num motor de 1250 kW ronda a casa dos 150 mil euros. Este motor antes de ter um variador de velocidade, tinha um consumo médio de 800 kWh. Após a instalação do variador, o consumo diminuiu 68,7% passando para os 250 kWh.

Em contexto industrial a elevada dificuldade para obter-se valores reais, devido a sucessivas paragens das linhas de produção que, influenciam estes dados, foi necessário, para efeitos de cálculos, a utilização de valores médios. Foi comparado o mesmo período de tempo, nomeadamente janeiro de 2022 e janeiro de 2023. Na tabela 24 é apresentada a potência consumida pelo motor antes da introdução do variador de velocidade, bem como os dias de trabalho do motor e do custo da energia elétrica em €/MWh.

Tabela 24 - Potência do motor do ventilador de tiro sem variador (janeiro 2022)

$\dot{Q}_{\text{motor}}$	0,800	MWh
Custo energia	150	€/MWh
Dias	30*24	Horas

A equação (22) apresenta o custo de funcionamento do motor sem variador de velocidade em janeiro de 2022.

$$Custo = \dot{W}_{motor} \times Custo\ energia \times \Delta t \text{ [€]} \quad (22)$$

$$\Leftrightarrow Custo = 86400 \text{ [€]}$$

Na tabela 25 é apresentada a potência consumida pelo motor depois da introdução do variador de velocidade, bem como os dias de trabalho do motor e do custo da energia elétrica em €/MWh.

Tabela 25 - Potência do motor do ventilador de tiro com variador (janeiro 2023)

$Q_{motor}$	0,250	MWh
Custo energia	150	€/MWh
Dias	30*24	Horas

A equação (23) apresenta o custo de funcionamento do motor com variador de velocidade em janeiro de 2023.

$$Custo = \dot{W}_{motor} * Custo\ energia * \Delta t \text{ [€]} \quad (23)$$

$$\Leftrightarrow Custo = 27000 \text{ [€]}$$

A equação (24) apresenta o tempo de liquidação do variador de velocidade com a poupança em €, através da redução do consumo de energia elétrica.

$$Tempo\ de\ liquidação = \frac{Investimento}{Poupança} \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow Tempo\ de\ liquidação = 2,5\ meses$$

Com a poupança significativa que o variador trouxe através da redução do consumo elétrico, permite pagar o valor total da aquisição e montagem do variador em dois meses e meio.

#### 4.4. Principais Problemas Encontrados na Operação da Caldeira de Biomassa

A existência de biomassa proveniente de materiais triturados, como é o caso de paletes, armários, mesas de madeira e cadeiras, trazem consigo metais usados na sua fixação quando fabricados. Com a trituração da biomassa no parque de madeiras, esses metais não são separados de imediato, acabando por serem introduzidos nos sistemas de alimentação da caldeira. No entanto, a caldeira está equipada com um magnético que separa os metais ferrosos da biomassa.

Aqui surge de imediato um problema, pois todos os materiais não ferrosos, como é o caso do alumínio, acabam por entrar para a câmara de combustão da caldeira. A temperatura no interior da câmara de combustão, mais concretamente junto às grelhas onde ocorre o processo de combustão, acaba por ultrapassar largamente os 900°C. O alumínio tem uma temperatura de fusão relativamente baixa, na ordem dos 660°C, acabando assim por fundir e depositar-se no interior da caldeira.

Quando a câmara de combustão arrefece abaixo da temperatura de fusão do alumínio, este acaba por solidificar, agarrando-se às grelhas, não permitindo o seu deslocamento, causando o bloqueio e por vezes a sua rutura. Para além do alumínio, os metais provenientes da biomassa reciclada acabam por passar pela cinta dos metais. Este problema acaba por provocar a paragem da caldeira de modo a proceder-se a uma ação de manutenção corretiva.

Devido aos ciclos térmicos, paragens e sobretudo à elevada temperatura a que a câmara de combustão está sujeita, o refratário que protege os componentes internos da caldeira como tubagens de água bem como as próprias paredes de aço, acaba por degradar-se e começa a soltar-se das paredes, diminuindo a proteção da caldeira. Esta diminuição de proteção poderá provocar no aço ciclos térmicos, levando à fadiga e desgaste do mesmo.

Outro problema é quando o separador de paus existente na alimentação da caldeira, não consegue remover paus de grandes dimensões ou mesmo chapas metálicas de grande dimensão que são carregadas juntamente com a biomassa. O operador da máquina carregadora não consegue visualizar esse mesmo material nas pás frontais das máquinas de transporte de biomassa. Este tipo de material acaba por chegar à cinta dos metais, cinta que faz a remoção dos materiais ferrosos, e como não conseguem ultrapassar esse ponto, acabam por causar fricção na cinta levando ao seu desgaste prematuro. Esta situação acaba por obrigar os operadores a alimentarem a caldeira pelos sistemas de emergência durante um período de até três horas.

Os cilindros hidráulicos instalados nos arrastadores que movimentam a biomassa para a cinta transportadora, utilizam uma pressão interna de 6 bars, implicando que os vedantes se danifiquem, deixando passar esse fluido hidráulico para o exterior dos equipamentos. Para este tipo de problema, existe sempre um cilindro reparado previamente, de modo a poder fazer-se a substituição num curto período de tempo.

#### 4.5. Análise dos Indicadores de Manutenção

Para o cálculo do MTBF (Mean Time Between Failures) será considerado que ao longo de um ano o separador de paus e as grelhas trabalhem 24h por dia, 30 dias por mês, e retirando as 5 semanas que são usadas por norma para paragens maiores de manutenção e ainda 3 semanas para paragens mais curtas ao longo do ano temos 56 dias úteis de paragem. A equação (25) apresenta o cálculo real dos dias de trabalho durante um ano calendário.

$$\begin{aligned} \text{Dias reais de trabalho} &= \text{dias totais} - \text{dias de paragem} \quad (25) \\ \text{Dias reais de trabalho} &= 309 \text{ dias} \end{aligned}$$

O cálculo do MTTR (Mean Time to Repair) será muito semelhante ao usado no MTBF, no entanto em vez de usar o tempo total de trabalho usa-se o tempo total das paragens realizadas. Anteriormente foi assumido que as paragens maiores e as mais pequenas contemplavam um total de 8 semanas, o que se reflete em 56 dias. No caso do número de intervenções realizadas, considerando 4 paragens menores ao longo do ano mais três paragens maiores, uma no Natal, outra na Páscoa e por último em agosto, temos um total de 7 paragens.

##### 4.5.1. Indicadores de Manutenção

O separador de paus, ilustrado na Figura 5, como o próprio nome indica, separa os paus da biomassa, impedindo que estes sejam transportados em direção à caldeira. Quando estes paus conseguem passar acabam por ficar presos em algum ponto da alimentação, impedido que seja alimentada, obrigando por vezes a parar a sua operação.

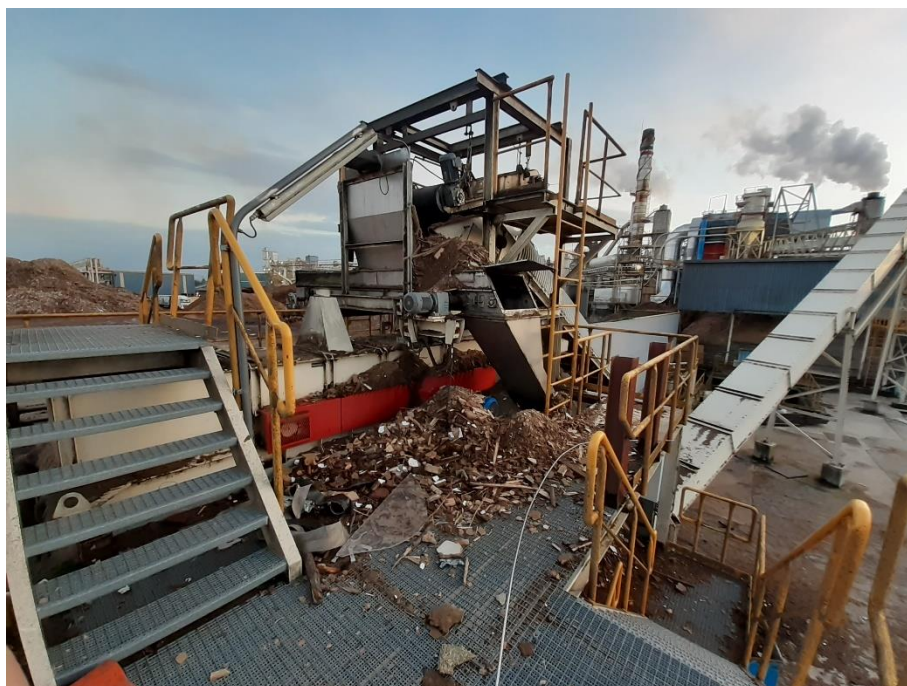


Figura 5 - Separador de Paus (Luso Finsa 2023)

Na Tabela 26 está agrupado o número total de falhas ocorridas no separador de paus desde o ano 2019 até ao ano 2022.

Tabela 26 - Falhas ocorridas no separador de paus em cada ano

	Quantidade de falhas
Ano 2019	8
Ano 2020	9
Ano 2021	12
Ano 2022	6

#### 4.6.1.1 Cálculo para o Ano 2019

No ano de 2019 teve um total de 8 falhas/manutenções preventivas (Figura 6)

Texto breve	Loc. instalação	Denominação do loc. instalação	Equipamento	Denomi.	StatSist	Data-base inf...	Tp.	P	TAM	Data entr.
term motor sp paus	0.MA.01.4309.010	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CNPA...	07.04.2019	ZPM0	1	MC	07.04.2019
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CAPC...	22.04.2019	ZPM2	5	MP...	08.04.2019
FALHA DO TERMICO DE PROTECAO		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CONF...	17.04.2019	ZPM0	1	MC	16.04.2019
Pinhões do separador de paus estão desap		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CONF...	31.05.2019	ZPM2	3	MP...	31.05.2019
Substituir motorreductor do Separador de		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CONF...	23.12.2019	ZPM2	6	MP...	19.06.2019
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE IMPR...	16.08.2019	ZPM2	6	MP...	16.08.2019
SEPARADOR DE PAUS ATASCADO		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CONF...	20.12.2019	ZPM0	1	MC	20.12.2019
separador de paus parado		ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR...	ENTE CONF...	21.12.2019	ZPM0	1	MC	20.12.2019

Figura 6 - Falhas do separador de paus no ano 2019

- **Cálculo do Mean Time Between Failures**

Na equação (26) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (26)$$

$$MTBF = 927 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, a cada 927 horas existiu paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

- **Cálculo do Mean Time to Repair**

Na equação (27) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (27)$$

$$MTTR \approx 168 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 168 horas, quer seja por paragens ou para manutenções.

- **Cálculo da disponibilidade do separador de paus**

Neste cálculo realizado através da equação (28), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (28)$$

$$\text{Disponibilidade (\%)} = 84,7$$

#### 4.6.1.2 Cálculo para o Ano 2020

No ano de 2020 teve um total de 9 falhas/manutenções preventivas (Figura 7).

Corrente de tração de um dos rolos do se	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF...	28.01.2020
Falha separador de paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF...	17.02.2020
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE IMPR ...	13.04.2020
atasco do separador de paus da Vyncke	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF...	30.04.2020
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE IMPR ...	10.08.2020
sistema alimentacao casca vyncke	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CAPC...	09.09.2020
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE IMPR ...	04.01.2021
Atasco separador de paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF...	13.11.2020
falha realimentacao separador paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF...	24.12.2020

Figura 7 - Falhas do separador de paus no ano 2020

##### ○ Cálculo do Mean Time Between Failures

Na equação (29) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (29)$$
$$MTBF = 824 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, a cada 824 horas existiu paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

##### ○ Cálculo do Mean Time to Repair

Na equação (30) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (30)$$
$$MTTR \approx 149 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 149 horas, quer seja por paragens ou para manutenções.

##### ○ Cálculo da disponibilidade do separador de paus

Neste cálculo realizado através da equação (31), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$Disponibilidade (\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (31)$$

$$Disponibilidade (\%) = 84,7$$

#### 4.6.1.3 Cálculo para o Ano 2021

No ano de 2021 teve um total de 12 falhas/manutenções preventivas (Figura 8).

PROBLEMAS COM O SEPARADOR DE PAUS	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 25.02.2021
corrente dos rolos lassa	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 12.04.2021
Fazer furação no reguardo para adaptar l	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 26.05.2021
falha do separadores de pasus vyncke	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 09.06.2021
separador paus disparado	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 12.06.2021
falha separador de paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 20.07.2021
termico disparado sep paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 15.08.2021
porta de acesso ao separador de	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CNPA... 25.08.2021
falha do separador depaus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 27.08.2021
falha separadore de paus	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 24.09.2021
MP SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE IMPR... 27.12.2021
separador paus preso	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 03.11.2021
SEPARADOR DE PAUS PRESO	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 12.11.2021
SEPARADOR PAUS PRESO	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 15.11.2021
separador paus preso	ALIMENTAÇÃO CASCA (CALDEIRA VYNCKE)	EMA430220	SEPAR... ENTE CONF... 21.12.2021

Figura 8 - Falhas do separador de paus no ano 2021

#### ○ Cálculo do Mean Time Between Failures

Na equação (32) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (32)$$

$$MTBF = 618 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, a cada 618 horas existiu paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

#### ○ Cálculo do Mean Time to Repair

- Na equação (33) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (33)$$

$$MTTR \approx 112 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 112 horas, quer seja por paragens ou para manutenções.

- **Cálculo da disponibilidade do separador de paus**

Neste cálculo realizado através da equação (34), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$Disponibilidade (\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (34)$$

$$Disponibilidade (\%) = 84,7$$

#### 4.6.1.4 Cálculo para o Ano 2022

No ano de 2022 teve um total de 6 falhas/manutenções preventivas (Figura 9).

EMA430223	GRUPO ARRASTADORES CASCA	ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	07.09.2022	ZPM0 2
EMA430219	CINTA SAIDA ARRASTADORES -2101M21.1/21.2	ENTE CONF IMPR CAPC MATF MOME NOLQ	05.09.2022	ZPM2 5
EMA430223	GRUPO ARRASTADORES CASCA	ENTE CONF IMPR CAPC MOME MatC NOLQ	22.08.2022	ZPM2 6
EMA006052	BOMBA DRENAGEM AGUA PLUVIAL - 2101M36	ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	20.08.2022	ZPM0 2
EMA430225	RDL TRANSPORTE CASCA Nº2-2101M1.1/1.2	ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	18.08.2022	ZPM0 1
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	12.08.2022	ZPM0 2
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF IMPR CAPC MOME NOLQ SCDM	12.08.2022	ZPM0 2
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	10.08.2022	ZPM0 1
EMA120365	CINTA RECOLHA METAIS À CACAMBA - 2101M13	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	09.08.2022	ZPM0 1
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	03.08.2022	ZPM0 1
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	01.08.2022	ZPM0 1
EMA430224	RDL TRANSPORTE CASCA Nº1-2101M6.1/6.2	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	25.07.2022	ZPM1 3
EMA430225	RDL TRANSPORTE CASCA Nº2-2101M1.1/1.2	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	25.07.2022	ZPM1 3
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	21.07.2022	ZPM0 1
EMA430225	RDL TRANSPORTE CASCA Nº2-2101M1.1/1.2	ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	15.07.2022	ZPM0 1
EMA430223	GRUPO ARRASTADORES CASCA	ENTE CNPA IMPR CAPC MOME NOLQ SCDM	12.07.2022	ZPM0 1
EMA006052	BOMBA DRENAGEM AGUA PLUVIAL - 2101M36	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	01.07.2022	ZPM0 2
EMA430220	SEPARADOR DE PAUS -2101M12	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	20.06.2022	ZPM0 1
		ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	05.05.2022	ZPM1 3

Figura 9 - Falhas do separador de paus no ano 2022

- **Cálculo do Mean Time Between Failures**

Na equação (35) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (35)$$

$$MTBF = 1236 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, a cada 1236 horas existiu paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

- **Cálculo do Mean Time to Repair**

Na equação (36) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (36)$$

$$MTTR \approx 224 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 224 horas, quer seja por paragens ou para manutenções.

○ **Cálculo da disponibilidade do separador de paus**

Neste cálculo realizado através da equação (37), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (37)$$

$$\text{Disponibilidade (\%)} = 84,7$$

Na tabela 27 é apresentado uma compilação dos cálculos do MTBF, do MTTR e da disponibilidade, calculados anteriormente.

Tabela 27 - MTBF, MTTR e Disponibilidade do equipamento em diferentes anos

Ano	MTBF (H)	MTTR (H)	Disponibilidade (%)
2019	927	168	84,7
2020	824	149	84,7
2021	618	112	84,7
2022	1236	224	84,7

#### 4.5.2. Grelhas da Câmara de Combustão

As grelhas (Figura 10) são estruturas de suporte de toda a biomassa que se encontra em combustão, podendo se moverem de forma a transportar a biomassa já em cinzas para o redler.



*Figura 10 - Grelhas da câmara de combustão  
(Luso Finsa 2023)*

Na tabela 28 é apresentado o número de falhas das grelhas da câmara de combustão para o ano 2021 e 2022.

*Tabela 28 - Quantidade de falhas nos anos 2021 e 2022*

	Quantidade de falhas
Ano 2021	5
Ano 2022	6

### 4.6.3.1 Ano 2021

No ano de 2021 teve um total de 5 falhas/manutenções preventivas (Figura 11).

Equipamento	Denominação do objeto técnico	Status do sistema	InícioBase	Tp.	P	TAM	Data entr.	Data início real
EMA430275	CHY GRELHAS VYNCKE - 119M1	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	16.07.2021	ZPM0	1	MC	16.07.2021	16.07.2021
EMA430275	CHY GRELHAS VYNCKE - 119M1	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	21.07.2021	ZPM0	2	MC	21.07.2021	21.07.2021
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	24.07.2021	ZPM0	1	MC	24.07.2021	24.07.2021
EMA430282	PERMUTADOR AGUA/AR 1-2	ENTE IMPR CAPC NOLQ SCDM	27.08.2021	ZPM2	3	MP...	27.08.2021	
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	17.09.2021	ZPM0	1	MC	17.09.2021	17.09.2021
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	19.09.2021	ZPM0	1	MC	19.09.2021	19.09.2021
EMA430282	PERMUTADOR AGUA/AR 1-2	ENTE IMPR CAPC NOLQ SCDM	11.10.2021	ZPM2	3	MP...	11.10.2021	
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE IMPR CAPC NOLQ SCDM	22.10.2021	ZPM2	5	MP...	22.10.2021	
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	26.10.2021	ZPM0	1	MC	26.10.2021	26.10.2021
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE CNPA IMPR CAPC MOME NOLQ SCDM	15.11.2021	ZPM0	2	MC	15.11.2021	15.11.2021
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE CAPC NOLQ SCDM		ZPM0	6	MC	15.11.2021	
EMA430283	PERMUTADOR OLEO/AR	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	12.12.2021	ZPM0	1	MC	12.12.2021	12.12.2021
		ENTE CNPA CAPC MOME NOLQ SCDM	19.12.2021	ZPM0	1	MC	19.12.2021	19.12.2021
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	25.12.2021	ZPM0	1	MC	25.12.2021	25.12.2021
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE IMPR CAPC MOME NOLQ SCDM	27.12.2021	ZPMM	6	MEJ	26.11.2021	
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE CNPA IMPR CAPC MATF MOME NOLQ	03.01.2022	ZPMM	5	MEJ	04.08.2021	28.10.2021
EMA430281	VENTILADOR AR SECUNDARIO - 124M1	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	12.01.2022	ZPM0	1	MC	12.01.2022	12.01.2022
EMA430276	GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	16.02.2022	ZPM0	1	MC	16.02.2022	17.02.2022
EMA430276	GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM		ZPM0	1	MC	16.02.2022	17.02.2022
		ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	21.03.2022	ZPM0	2	MC	21.03.2022	21.03.2022
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	10.04.2022	ZPM0	1	MC	10.04.2022	10.04.2022
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF CAPC MOME NOLQ SCDM	26.04.2022	ZPM0	1	MC	26.04.2022	26.04.2022
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CAPC MOME NOLQ SCDM	06.06.2022	ZPM1	5	MP...	06.06.2022	
EMA430275	→ CHY GRELHAS VYNCKE - 119M1	ENTE CONF CAPC NOLQ SCDM	09.06.2022	ZPM0	1	MC	09.06.2022	09.06.2022
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CNPA IMPR CAPC MOME MATC NOLQ	28.06.2022	ZPM0	3	MC	03.05.2022	28.06.2022
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF IMPR CAPC MATF MOME NOLQ	05.07.2022	ZPM0	2	MC	27.06.2022	05.07.2022
EMA430275	→ CHY GRELHAS VYNCKE - 119M1	ENTE CAPC NOLQ SCDM	01.08.2022	ZPM0	1	MC	01.08.2022	
EMA430276	→ GRELHAS VYNCKE	ENTE CONF IMPR CAPC NOLQ SCDM	16.09.2022	ZPM0	1	MC	15.09.2022	15.09.2022
EMA430280	VENTILADOR AR PRIMARIO - 123M1	ENTE CNPA CAPC NOLQ SCDM	08.11.2022	ZPM0	1	MC	08.11.2022	08.11.2022

Figura 11 - Falhas das grelhas nos anos 2021 e 2022

#### ○ Cálculo do Mean Time Between Failures

Na equação (38) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (38)$$

$$MTBF = 1483 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, a cada 1483 horas houve paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

#### ○ Cálculo do Mean Time to Repair

Na equação (39) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (39)$$

$$MTTR \approx 269 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 269 horas, quer seja por paragens ou para manutenções

- **Cálculo da disponibilidade das grelhas**

Neste cálculo realizado através da equação (40), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (40)$$
$$\text{Disponibilidade (\%)} = 84,7$$

#### 4.6.3.2 Ano 2022

No ano de 2022 teve um total de 6 falhas/manutenções preventivas.

- **Cálculo do Mean Time Between Failures**

Na equação (41) é apresentado o cálculo do MTBF.

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de trabalho (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (41)$$
$$MTBF = 1236 [H]$$

Este resultado indica que das 7416 horas que este equipamento opera, em cada 1236 horas houve paragens, quer para manutenção, ou, por paragens forçadas para reparações.

- **Cálculo do Mean Time to Repair**

Na equação (42) é apresentado o cálculo do MTTR.

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total de paragens (em horas ou minutos)}}{\text{Número de intervenções realizadas}} \quad (42)$$
$$MTTR \approx 224 [H]$$

Este resultado indica que o tempo médio de reparação deste equipamento foi de cerca de 224 horas, quer seja por paragens ou para manutenções.

- **Cálculo da disponibilidade das grelhas**

Neste cálculo realizado através da equação (43), é dada a disponibilidade em percentagem em que o equipamento está efetivamente disponível para operação.

$$Disponibilidade (\%) = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (43)$$

$$Disponibilidade (\%) = 84,7$$

Na tabela 29 é apresentado uma compilação dos cálculos do MTBF, do MTTR e da disponibilidade, calculados anteriormente.

*Tabela 29 - MTBF, MTTR e disponibilidade do equipamento nos anos 2021 e 2022*

Ano	MTBF (H)	MTTR (H)	Disponibilidade (%)
2021	1483	269	84,7
2022	1236	224	84,7

### **Análise do modo de falha e efeitos (Fmea)**

O FMEA, segundo (Lima Junior & Rodrigues, 2022), “ pode ser entendido como metodologia sistemática que permite identificar potenciais falhas de um sistema, projeto e/ou processo, com o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos associados, antes que tais falhas ocorram. O objetivo é eliminar os modos de falha ou reduzir os riscos associados”.

### **Avaliação de risco do separador de paus**

O maior risco que pode ocorrer quando falha o separador de paus, é quando passa a ser obrigatório usar a caçamba de emergência. Como consequência, obriga a utilizar um recurso bastante importante, como uma máquina diesel e um operador para alimentar a caçamba de vinte em vinte minutos. O material que irá alimentar a caldeira terá de ser cuidadosamente selecionado, isento de qualquer objeto de grandes dimensões, como paus e materiais ferrosos. Isso acontece porque, a biomassa ao não passar pelo separador de paus, acaba por não passar pelo magnético, não retirando os materiais ferrosos. Ao atravessar esta fase sem ser selecionado apenas a biomassa, acabaria por obstruir a passagem da restante biomassa que alimenta a caldeira, fazendo-a parar por horas.

## Número de prioridade de risco (NPR)

Com o cálculo do NPR (equação 44) pretende-se ordenar as causas potenciais de falhas, através do seu grau de risco, de forma a planear as ações corretivas que produzam efeitos imediatos.

$$NPR = \text{índice de ocorrência} \times \text{índice de gravidade} \times \text{índice de deteção} \quad (44)$$

## Índice de ocorrência ou índice de frequência

Este índice corresponde à probabilidade de falha de um equipamento constituinte da caldeira de biomassa.

No caso do separador de paus existe uma moderada probabilidade de ocorrer uma falha, considerando-se uma classificação de 5. Esta classificação é devida ao fato de que, no caso de uma corrente de tração partir, todo o equipamento fica inoperacional, afetando a alimentação segura da caldeira. Na Tabela 30 são apresentados os critérios utilizados na escolha do índice de ocorrência.

Tabela 30 - Critérios usados na escolha do índice de ocorrência

Critério	Classificação	Índice de ocorrência	$C_{pk}$
Remota probabilidade de ocorrência.	1	1/1000000	$C_{pk} > 1,67$
Muita baixa probabilidade de ocorrência.	2	1/20000	$C_{pk} > 1,00$
Baixa probabilidade de ocorrência.	3	1/4000	$C_{pk} < 1,00$
Moderada probabilidade de ocorrência	4	1/1000	-
	5	1/400	
	6	1/80	
Alta probabilidade de ocorrência.	7	1/40	-
	8	1/20	
Muito alta probabilidade de ocorrência.	7	1/8	-
	10	1/2	

## Índice de gravidade

O índice de gravidade corresponde aos efeitos da falha ao nível do processo, da segurança e do ambiente (Amaral, 2016). Na Tabela 31 são indicados os critérios utilizados na escolha do índice de gravidade.

Tabela 31 - Critérios usados na escolha do índice de gravidade

Critério	Classificação	Índice de severidade
A manutenção mal percebe que a falha ocorre.	1	Mínimo
Ligeira deterioração do desempenho do equipamento.	2 3	Baixo
Deterioração significativa no desempenho do equipamento.	4 5 6	Moderado
O equipamento deixa de funcionar afetando a alimentação da caldeira.	7 8	Alto
O equipamento deixa de funcionar afetando a alimentação da caldeira.	9 10	Muito alto

Considerando que toda a biomassa terá de entrar na caldeira pela caçamba de emergência, estando à mercê do operador da máquina colocar biomassa, isenta de paus ou materiais ferrosos, a gravidade desta falha é muito alta, apresentando uma classificação de 10.

### Índice de detecção

Corresponde à maior ou menor facilidade na detecção da falha, pelo caldeireiro ou por outra pessoa, antes que ocorra a sua rutura. Na Tabela 32 é indicado os critérios utilizados na escolha do índice de detecção.

Tabela 32 - Critérios usados na escolha do índice de detecção

Critério	Classificação	Índice de Detecção
Certamente será detetado.	1	Muito alto
Grande probabilidade de ser detetado.	2 3	Grande
Provavelmente será detetado.	4 5 6	Moderado
Provavelmente não será detetado.	7 8	Pequeno
Certamente não será detetado.	9 10	Muito pequeno

Quando ocorre a falha do separador de paus, como é o caso de uma corrente de tração partir, o barulho torna-se ensurdecador. Isto levará certamente a algum operador

a detetar a falha. No caso de não detetarem pelo barulho, será pela acumulação de paus, não desempenhando o papel para o qual está projetado. Assim, a sua classificação é de grau 4.

### **Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para o Separador de Paus**

Através da carta apresentada na Tabela 33, será apresentado o número de prioridade de risco, calculado pelos índices apresentados anteriormente, bem como o modo potencial de falha, os efeitos e as causas potenciais de falha e por último as ações recomendadas para que o mesmo não ocorra, ou se ocorrer que não provoque danos maiores.

Será calculado o número de prioridade de risco (NPR):

$$NPR = 200$$

Tabela 33 - Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para o Separador de Paus

<p><b>Sistema:</b> Permite a alimentação da caldeira de forma segura, prevenindo que os paus acabem por passar e causar a paragem da caldeira, posteriormente à passagem do separador de paus, não havendo nenhuma outra forma de a poder alimentar.</p>										
Componente	Função	Modo potencial de falha	Efeito potencial de falha	Índice de gravidade	Causas Potenciais de falha	Índice de ocorrências	Tarefas existentes	Índice de deteção	NPR	Ações recomendadas
Separador de paus	Separar paus	Discos rodam no veio, correntes de tração laças	Partir corrente de tração e falta de eficácia na separação de paus	10	- Corrente de tração partir; - Discos rodam em vão;	5	Inexistente	1	200	Sensores de movimentação para as correntes de tração

### **Avaliação de risco pelas grelhas da caldeira**

As grelhas da câmara de combustão são os principais elementos constituintes da caldeira, do qual sem elas não poderia ocorrer a combustão, e assim a produção de energia térmica. Diversos problemas têm ocorrido, causando o bloqueio dos carros das grelhas, sendo o principal fator a enorme quantidade de materiais não ferrosos sobretudo. Outro fator tem sido, diversos materiais ferros, isto devido à biomassa utilizada se encontrar bastante saturada desses materiais, o próprio ímã não possui capacidade suficiente para os remover a todos. Isto tem como causa direta o prendimento de algumas grelhas de um determinado carro, provocando a fratura de um bloco de grelhas. Implica uma paragem de emergência na caldeira por horas indetermináveis, dependendo de cada situação, provocando um custo associado para a empresa. Toda a temperatura da fábrica acaba por diminuir, necessitando de pelo menos uma linha andar a um ritmo menor, ou então mudar o seu tipo de produção, de modo a conseguir na mesma produzir o seu produto final.

### **Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para as Grelhas Móveis**

Neste tipo de equipamento é determinado que existe uma elevada probabilidade da ocorrência. Como foi dito anteriormente, sem um equipamento como um indutivo, para retirar os materiais não ferrosos e uma seleção melhor de biomassa com menos quantidade de materiais ferrosos, este problema continuará a ocorrer diversas vezes, sendo dada uma classificação de 7. Outro ponto a considerar será o índice de gravidade, no qual foi determinado que este tipo de problema deteriora significativamente o desempenho da caldeira, sendo considerado um índice igual a 6. Por último, o índice de deteção, no qual existe uma grande probabilidade de ser detetado, principalmente pelo operador que possuiu uma câmara vinte e quatro horas por dia virada para dentro da câmara de combustão, sendo considerado um índice igual a 3.

Depois de determinado todos os índices, é determinado o cálculo do número de prioridade de risco, através da carta apresentada na Tabela 34. Será apresentado ainda, o modo potencial de falha, os efeitos e as causas potenciais de falha e por último as ações recomendadas para que o mesmo não ocorra, ou se ocorrer que não provoque danos maiores.

Será calculado o número de prioridade de risco (NPR):  $NPR = 126$

Tabela 34 - Carta de Análise do Modo de Falha e Efeitos para as grelhas móveis

<b>Sistema:</b> Permite a combustão da biomassa de forma segura										
<b>Componente</b>	<b>Função</b>	<b>Modo Potencial de Falha</b>	<b>Efeito Potencial de Falha</b>	<b>Índice de Gravidade</b>	<b>Causas Potenciais de Falha</b>	<b>Índice de Ocorrências</b>	<b>Tarefas Existentes</b>	<b>Índice de Detecção</b>	<b>NPR</b>	<b>Ações Recomendadas</b>
Grelhas	Permite a combustão da biomassa de forma segura.	Grelhas ficam com prisão e partem.	Paragem total da caldeira	7	-Grelhas partem; - Deixa de existir combustão;	6	Inexistente	3	126	Detetação de grelhas nos redlers das cinzas

#### **4.6. Plano de Lubrificação da Caldeira de Biomassa**

Um plano de lubrificação requer numa primeira fase a análise das instalações onde os equipamentos se encontram, ao tipo de ambiente a que estão sujeitos e às condições de funcionamento. Numa segunda fase é importante seguir o manual de instruções do equipamento, no qual o fabricante indica o tipo de lubrificante adequado ao equipamento, as temperaturas de operação, a quantidade a colocar e o tipo de lubrificante. Numa última fase a elaboração do plano de lubrificação, mencionando os métodos e procedimentos a utilizar assim bem como a periodicidade da aplicação.

#### **4.7. Métodos e Procedimentos a Utilizar na Elaboração da Lubrificação**

O responsável que elaborar o plano de lubrificação necessita de ter em conta o local onde se encontra instalado o equipamento, a sua utilização, se este trabalha continuamente 24h sobre 24h, a carga de trabalho a que está sujeito e sobretudo a importância do equipamento para o resto da fábrica. Quanto maior for a importância do equipamento no local, maior será a sua atenção para o manter com a melhor lubrificação possível, de forma a evitar avarias futuras e reparações dispendiosas. Assim é aplicado um método que o lubrificador terá de seguir rigorosamente.

Para a elaboração desse método, recorre-se à plataforma SAP, no qual é possível indicar qual o equipamento a lubrificar, com que intervalo de periodicidade, tipo de lubrificante e quantidade.

1º Passo: Elaboração de um ficheiro com a identificação do equipamento.

2º Passo: Levantamento no local de todos os equipamentos que necessitam de lubrificação, assim como os pontos de introdução do lubrificante.

3º Passo: Introdução dos equipamentos na plataforma SAP

4º Passo: Dividir em cada equipamento os pontos diferentes a serem lubrificados, como o caso de chumaceiras, centrais hidráulicas, motores de alta tensão. Ao dividir por diversos pontos na plataforma, permite que se introduza a periodicidade de lubrificação correta de cada componente constituinte do equipamento.

5º Passo: Indicação do que o lubrificador necessita de fazer em cada componente constituinte do equipamento

6º Passo: Introdução da periodicidade de lubrificação de cada componente

7º Passo: Indicação do lubrificante correto de cada componente na plataforma SAP

8º Passo: Visualização final da ordem de lubrificação

#### 4.7.1. Periodicidade de Lubrificação

O período de intervalo em cada lubrificação é de extrema importância, pois com o tempo algum lubrificante pode ter desaparecido, nomeadamente por uma fuga que não foi antecipadamente encontrada ou então por consumo. Com o tempo o próprio lubrificante perde as suas qualidades para o qual foi dimensionado. Assim na Luso Finsa de uma forma genérica, com cumprimento dos próprios fabricantes, existe um procedimento de forma a ter os equipamentos sempre bem lubrificados, sendo possível perceber através da Tabela 35.

Tabela 35 - Periodicidade de lubrificação

Chumaceiras	Periodicidade de lubrificação	Periodicidade da substituição do lubrificante
Verificar nível dos motos redutores	4 semanas	4 meses
Lubrificação de correntes de tração	2 semanas	-
Motores elétricos de alta tensão	3 meses	6 meses
Ventiladores	2 semanas	3 a 6 meses
Centrais Hidráulicas	4 semanas	12 meses

Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

#### 4.7.2. Tipos de Motorreductores Usados na Luso Finsa

Dentro da Luso Finsa os motorreductores têm uma elevada importância no papel que desempenham todos os dias. Desde a deslocação de sem-fins de alimentação da caldeira, redlers de alimentação e de cinzas assim como a deslocação de tapetes rolantes.

Na Tabela 36 encontram-se os motorreductores utilizados na Luso Finsa, sendo todos eles da empresa SEW.

Tabela 36 - Tipos de motorreductores usados na Luso Finsa da marca SEW

Tipos de motorreductores	Óleo compatível CEPSA
Engrenagem helicoidal (R)	HP 220
Cónico (K)	HP 220
Veios paralelos (F)	HP 220
Parafuso sem-fim (S)	HP 320
Angulares (W)	HP 320

O tempo de intervalo para lubrificação, ou seja, a substituição do lubrificante é de cerca de 3000h, o que equivale a uns 125 dias, considerando que trabalhem 24h contínuos. Assim será necessário substituir a cada 4 meses, mas na Luso Finsa por questões de segurança, a substituição do lubrificante passa para os 3 meses. No entanto, a cada 4 semanas, o lubrificador irá verificar o nível de óleo presente na caixa de engrenagens.

#### 4.7.3. Centrais Hidráulicas (CHY)

As centrais hidráulicas armazenam o óleo hidráulico usado para cilindros dos empurradores da casca bem como para movimentar as grelhas da caldeira Vyncke. Segundo o fabricante da central hidráulica, a cada 4 semanas deve-se verificar o nível de óleo. A sua substituição é feita regularmente a cada ano de trabalho.

Na Tabela 37 encontram-se as características técnicas do óleo usado nas centrais hidráulicas da caldeira Vyncke.

Tabela 37 - Características técnicas do óleo hidráulico HM 68

Características	Unidades	Norma	CEPSA HIDRAULICO HM
Grado ISO	-	-	68
Massa volúmica a 15 °C, kg/ m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	ASTM D-4052	882
Ponto de Inflamação V/A °C, mínimo	°C	ASTM D-92	210
Ponto fluxo, °C, máximo	°C	ASTM D-5950	-18
Viscosidade a 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	cSt	ASTM D-445	68
Índice de viscosidade	cSt	ASTM D-2270	98

#### 4.7.4. Lubrificante Utilizado em Chumaceiras

As chumaceiras são componentes que requerem imensa lubrificação, devido ao elevado desgaste que possuem e devido à elevada carga que lhes é introduzida. No caso de as chumaceiras se encontrarem em um ambiente de pouca temperatura, é usado nesta caldeira o lubrificante da SKF, LGMT 2/18. Quando a chumaceira está sujeita a uma elevada temperatura, como é o caso das que se encontram a suportar o peso do veio das grelhas, é utilizado um lubrificante igualmente da SKF, no entanto este é à base de lítio, sendo ele o complex lítio. Na Tabela 38 são indicadas as principais diferenças das massas com e sem lítio na sua composição.

*Tabela 38 - Diferença entre massas com e sem lítio*

Tipo de Lubrificante	SKF LGMT 2/18	SKF Complex Lítio
Faixas de temperaturas operacionais	-30 °C a 120 °C	-30 °C a 140 °C
Temperatura de fluidez	180 °C	> 260 °C
Penetração a 60 golpes	265 - 295	245 - 275
Viscosidade a 40 °C	110 mm <sup>2</sup> /s	215 mm <sup>2</sup> /s

Analisando a Tabela 39, realça de imediato a temperatura de fluidez na massa complex lítio, no qual a temperatura a que a massa passa do estado sólido ao estado fluido ser apenas acima dos 260 °C, garantindo a adequada lubrificação dos rolamentos. Só é garantida a lubrificação devido à massa se manter no seu estado sólido, não havendo a probabilidade de esta sair através dos obturadores presentes nas chumaceiras.

#### 4.7.5. Plano de Lubrificação Criado

Após o levantamento de todos os equipamentos presentes nas caldeiras, e consultando vários manuais dos fabricantes, obteve-se o plano de lubrificação presente no Anexo A12.

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES FINAIS**

Após o trabalho contínuo de estudo efetuado na empresa Luso Finsa e a introdução de um plano de lubrificação como descrito nos capítulos anteriores, é possível retirar algumas conclusões.

Em qualquer atividade a introdução de uma etapa de estudo e acompanhamento do seu processo produtivo, torna-se fundamental. Com a devida compreensão do processo produtivo é possível apresentar soluções válidas para a resolução de diversos problemas ou avarias associadas ao processo produtivo.

Relativamente à potência que a caldeira produz, o valor indicado pelo fabricante é superior, isso porque, na realidade as condições de trabalho não são as ideais. O teor de humidade da biomassa é elevado, para as necessidades de queima na caldeira, assim como o caudal de combustível, variando ao longo do tempo. As potências que o fabricante nos apresenta como características são referentes à capacidade de queima teórica disponível. Esta energia é considerada utilizando os queimadores em separado, isto é, apenas um ou dois queimadores em funcionamento juntamente com a queima nas grelhas ao invés de utilizar todos os queimadores em conjunto.

Com este estudo pretendeu-se demonstrar que a introdução de manutenções, sobretudo preventivas nos equipamentos, permite que estes estejam a maior parte do tempo disponíveis, melhorando a eficiência bem como a redução dos custos associados à sua reparação. Pretendeu-se ainda determinar as eficiências neste tipo de equipamento, quando são efetuadas essas manutenções, para tal, obtem-se o histórico dos dados o que permitiu avaliar a sua evolução. Com a introdução de melhorias nos equipamentos a estudar, avaliar o seu comportamento ao longo de um determinado período tornou-se essencial, de modo a entender em que aspetos a melhoria efetuada proporcionou o aumento, ou não, do intervalo entre avarias.

Foi possível calcular a potência real que entra na caldeira através dos diversos combustíveis bem como a potência real que a caldeira consegue fornecer aos fluídos utilizados para a produção. O que realça de imediato é o rendimento da caldeira nos meses de outubro, fevereiro, março e abril.

Nestes meses os rendimentos são maiores devido às manutenções efetuadas nos meses imediatamente anteriores. Imediatamente se percebe que a manutenção desempenha um papel fundamental para o rendimento dos equipamentos, neste caso para a caldeira de biomassa. Nos meses em que se efetua a manutenção dos equipamentos constituintes da caldeira, são feitas limpezas na câmara de combustão, na câmara de convecção, multiciclones e são reforçadas as lubrificações. Futuramente seria importante melhorar a disponibilidade de toda a informação de todas as caldeiras de biomassa presentes na fábrica, de forma a ser possível obter a informação rapidamente. Embora os dados estejam presentes em SAP, é bastante difícil obter a informação de todos os equipamentos de forma eficaz e rápida.

Com a ajuda da aplicação informática SAP foi possível detetar dois equipamentos cruciais para a continuidade de trabalho da caldeira com diversos problemas. A introdução dos indicadores de manutenção reparou-se que esses equipamentos avariavam/falhavam diversas vezes ao longo do ano, necessitando da intervenção imediata por parte da manutenção.

O separador de paus tem tido muitas incidências, maioritariamente causadas por objetos metálicos ou por paus de grande tamanho, causando a obstrução da passagem de biomassa. Uma alternativa para que não volte a ocorrer esses tipos de problemas seria a introdução de um crivo, o qual a biomassa de dimensões da casa dos 60 mm de diâmetro passariam para o resto da alimentação e toda a biomassa de granulometria maior seria retirada.

Em relação às grelhas da caldeira o principal problema é a introdução de metais ferrosos entre as suas folgas e o alumínio que acaba por derreter e passar as grelhas solidificando-se logo de seguida, por baixo das grelhas. Este derretimento do alumínio causará prisão nas grelhas e sobretudo nos carros que movimentam as grelhas. Para superar esse problema é recomendado a utilização de um indutivo para a eliminação de materiais não ferrosos. Esse equipamento cria um campo magnético com uma determinada amplitude, que em contacto com o material não ferroso acaba por repelá-lo.



## Referências Bibliográficas

- Aldo Henne, R., Brand, M. A., Schweitzer, B., & Aparecida Spinelli Schein, V. (2019). Comportamento Térmico dos Resíduos produzidos na Combustão da Biomassa Florestal em Caldeira. *Revista Árvore*, 43(1), 1–9. <https://doi.org/10.1590/1806-90882019000100008>
- Antunes, S., Becker, R., Tavares, T., Queiroz, M., Vieira, B., Zaak Saraiva, I., Butzen, E., & Wolfart, M. (2019). *MANUTENÇÃO PREVENTIVA COMO ESTRATÉGIA DE COMPETIÇÃO: Plano de Lubrificação numa fábrica de rações e seu impacto nos custos. I.* <https://doi.org/10.21166/micti.v1i1.1903>
- Barbosa, J. G. R. (2015). *Estudo de viabilidade técnico-económica da instalação de caldeiras a biomassa para o aquecimento central do ISEP* [Dissertação de mestrado, Politécnico do Porto]. [https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8044/1/DM\\_JoaoBarbosa\\_2015\\_MES.pdf](https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/8044/1/DM_JoaoBarbosa_2015_MES.pdf)
- Barros, C. M. M. (2019). *Projeto: Conceção e implementação de um sistema de gestão e avaliação de desempenho por KPI'S* [Dissertação de mestrado, Universidade do Algarve]. <https://sapientia.ualg.pt/handle/10400.1/13564>
- Brand, M. (2007). *Qualidade da Biomassa para o uso na geração de energia em função do stock* [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal do Paraná.
- Cardoso, A. C. T. (2016). *Análise energética e exergética de uma caldeira de biomassa* [Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro]. <https://ria.ua.pt/handle/10773/21210>

- Cardoso, L. C. (2014). *Estudo do comportamento térmico de uma caldeira com ante-fornalha alimentada a biomassa florestal* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto]. <https://recipp.ipp.pt/handle/10400.22/6108>
- Çengel, Y., & Boles, M. (2006). *Termodinâmica: Vol. 5º* (Quinta edição). McGraw-Hill.
- Lopes, C. (2014). *Ações para melhoria do processo produtivo de uma fábrica de MDF* [Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra]. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/12401>
- Amaral, F. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria* (1.ª edição de impressa: março 2016). Lidel. <https://m.lidel.pt/pt/catalogo/engenharia-gestao-industrial-ciencias-da-terra/manutencao/gestao-da-manutencao-na-industria/>
- Huang et al. (2022). Biomass briquette fuel, boiler types and pollutant emissions of industrial biomass boiler: A review. *Particuology*, 1–34. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2022.08.016>
- Lima Junior, A. L., & Rodrigues, O. A. (2022). *FMEA aplicado a manutenção: Revisão sistemática e análise crítica*. 82.
- Oliveira, M. (2015). *Indicadores de manutenção industrial relacionados à eficiência global de equipamentos* [Dissertação de mestrado]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Neto, F. F. (2021). *Plano de Lubrificação de Caldeira a Biomassa e de seu sistema de Alimentação* [Universidade Federal do Rio grande do Norte]. [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/39573/4/PlanoLubrificacaoCaldeira\\_FernandesNeto\\_2021.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/39573/4/PlanoLubrificacaoCaldeira_FernandesNeto_2021.pdf)
- Oliveira, R. J. de, & Moreira, R. C. (2021). *Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal* (1ª, Vol. 1). Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/978-65-87196-84-8>

Pereira, J. (2022). *RELATÓRIO DE ENSAIO DE CALORIMETRIA* (PC2022:Finsa-EBF; p. 2).  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Ruivo, L. C. M. (2016). *Otimização do desempenho energético e ambiental duma caldeira industrial a biomassa* [masterThesis, Universidade de Aveiro].  
<https://ria.ua.pt/handle/10773/22560>

Silva, B. (2018). *ANÁLISE DA EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CADEIA DE VALOR DO USO DE BIOMASSA FLORESTAL COMO COMBUSTÍVEL EM PEQUENAS CALDEIRAS A VAPOR NA REGIÃO SUL DO BRASIL* [PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA].  
[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14050/DIS\\_PPGEPP\\_2018\\_SILVA\\_BIBIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14050/DIS_PPGEPP_2018_SILVA_BIBIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vieira, L. A. M. (2014). *Balanço energético da operação de uma caldeira a biomassa* [Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro].  
<https://ria.ua.pt/handle/10773/15786>

## Anexos

### A01 – Características técnicas do óleo térmico

#### CEPSA DIATERMO 22

Temperatura (°C)	Calor específico (J/g°C)	Presion de vapor (psia)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosidad (cSt)
20	1,9175	<0,002	0,8672	54,7370
40	1,9863	<0,002	0,8549	22,0300
60	2,0582	<0,002	0,8426	11,1011
80	2,1103	<0,002	0,8302	6,5227
100	2,1791	0,0020	0,8177	4,2700
120	2,2442	0,0050	0,8051	3,0232
140	2,3247	0,0130	0,7924	2,2697
160	2,3989	0,0300	0,7796	1,7827
180	2,4732	0,0670	0,7667	1,4509
200	2,5303	0,1390	0,7537	1,2152
210	2,5577	0,1960	0,7472	1,1224
220	2,5878	0,2710	0,7406	1,0422
230	2,6023	0,3710	0,7339	0,9725
240	2,6371	0,5000	0,7272	0,9116
250	2,6425	0,6700	0,7205	0,8581
260	2,6852	0,8900	0,7137	0,8108
270	2,7188	1,2000	0,7068	0,7689
280	2,7502	1,5000	0,6999	0,7315
290	2,7913	1,9000	0,6930	0,6981

## A02 – Cálculo das potências do óleo térmico

Potência do óleo térmico					
Ano	Mês de Funcionamento	Temperatura óleo térmico médio [°C]	$\dot{V}_{\text{óleo}}$ $m^3/s$	$m_{\text{óleo}}$ [kg/s]	$Q_{\text{óleo}}$ [MW]
2022	Julho	266,5	0,3103	220,064	11,345
	Setembro	257	0,3117	223,071	11,991
	Outubro	198,5	0,3111	234,797	13,582
	Novembro	240	0,3122	227,055	13,187
2023	Janeiro	249	0,3033	218,752	15,160
	Fevereiro	258,5	0,3125	223,349	16,233
	Março	262	0,3114	221,811	16,777
	Abril	264	0,3092	219,805	13,089
	Maio	258	0,3119	223,058	14,403
	Junho	263,5	0,3083	219,318	12,460
	Julho	267	0,3078	218,186	14,215

### A03 – Cálculo da potência térmica da água

Potência térmica da água				
Meses	Temperatura água média em °C	$\dot{V}_{H2O}$ m <sup>3</sup> /s	m <sub>H2O</sub> [kg/s]	Q <sub>H2O</sub> [MW]
Julho	105	0,028	26,49941	1,12148
Setembro	95,8		26,69988	1,394478
Outubro	68,6		27,18539	0,796706
Novembro	89,8		26,8195	0,901787
Janeiro	90,85		26,79914	1,138011
Fevereiro	96,1		26,69368	1,326859
Março	64,4		27,24874	0,205255
Abril	95,55		26,70503	1,675775
Maio	95,3		26,71016	1,282254
Junho	95,6		26,704	1,214633
Julho	97,1	26,67287	1,32639	

### A04 – Cálculo da potência fornecida pelos gases de combustão

Potência fornecida pelos gases						
Ano	Mês de Funcionamento	Soma dos caudais [m <sup>3</sup> /s]	Temperatura gases média [K]	Pressão de gases [Kpa]	Caudal mássico [kg/s]	Q [MW]
2022	Julho	13,33	714,45	0,2540	0,0111	10,05
	Setembro	13,40	710,15	0,2510	0,0110	10,28
	Outubro	9,25	569,60	0,3080	0,0122	4,70
	Novembro	13,01	679,25	0,2540	0,0113	9,46
2023	Janeiro	13,38	750,65	0,2430	0,0102	10,55
	Fevereiro	13,53	756,15	0,2440	0,0101	11,16
	Março	14,15	760,65	0,2540	0,0109	12,04
	Abril	11,72	743,20	0,2670	0,0097	9,74
	Maio	13,48	737,30	0,2410	0,0101	11,10
	Junho	13,20	731,10	0,2480	0,0103	10,63
	Julho	12,94	751,30	0,2510	0,0099	11,11

### A05 – Cálculo da potência térmica fornecida pela biomassa

Potência fornecida pela Biomassa (EBR+EBF+Placa Rejeitada)				
		Caudal mássico kg/s	PCI_h [kJ/kg]	Potência biomassa [MW]
2022	Julho	1,239	13556,6	16,791
	Setembro	1,495		20,263
	Outubro	0,956		12,962
	Novembro	1,474		19,977
2023	Janeiro	1,676		22,719
	Fevereiro	1,571		21,291
	Março	1,469		19,921
	Abril	1,414		19,175
	Maio	1,272		17,243
	Junho	1,409		19,104
	Julho	1,344		18,215

### A06 – Cálculo da potência térmica fornecida pelo Wet-Dust

Potência fornecida pelo Wet-Dust				
Não tendo informação alguma do caudal mássico, utilizei um valor experimental para uma carga de 50% dos sem-fins.				
Ano	Mês de Funcionamento	Caudal mássico kg/s	PCI_h [kJ/kg]	Potência Wet-Dust [MW]
2022	Julho	0,2729	12748	3,479
	Setembro	0,2729		3,479
	Outubro	0,2729		3,479
	Novembro	0,2729		3,479
2023	Janeiro	0,2729		3,479
	Fevereiro	0,2729		3,479
	Março	0,2729		3,479
	Abril	0,2729		3,479
	Maio	0,2729		3,479
	Junho	0,2729		3,479
	Julho	0,2729		3,479

### A07 – Cálculo da potência térmica fornecida pelo Black-Dust

Potência fornecida pelo Black-Dust				
	Não tendo informação alguma do caudal mássico, utilizei um valor experimental para uma carga de 50% dos sem-fins.			
Ano	Mês de Funcionamento	Caudal mássico kg/s	PCI_h [kJ/kg]	Potência Black-Dust [MW]
2022	Julho	0,2342	16494	3,862
	Setembro	0,2342		3,862
	Outubro	0,2342		3,862
	Novembro	0,2342		3,862
2023	Janeiro	0,2342		3,862
	Fevereiro	0,2342		3,862
	Março	0,2342		3,862
	Abril	0,2342		3,862
	Maio	0,2342		3,862
	Junho	0,2342		3,862
	Julho	0,2342		3,862

### A08 – Cálculo da potência térmica fornecida pelo pó de crivas

Potência fornecida pelo subproduto (pó crivas)				
Ano	Mês de Funcionamento	Caudal mássico kg/s	PCI <sub>h</sub> [kJ/kg]	Q <sub>pó crivas</sub> [MW]
2022	Julho	0,3889	16407	6,381
	Setembro	0,3389		5,560
	Outubro	0,0875		1,436
	Novembro	0,2325		3,815
2023	Janeiro	0,2794		4,585
	Fevereiro	0,3114		5,109
	Março	0,3069		5,036
	Abril	0,3964		6,504
	Maio	0,4281		7,023
	Junho	0,3683		6,043
	Julho	0,3911		6,417

## A09 – Cálculo da potência total produzida e consumida

Potência Real Calculada											
		[MW]									
		Q <sub>biomassa</sub>	Q <sub>Wet-Dust</sub>	Q <sub>Black-Dust</sub>	Q <sub>Subproduto</sub>	Q <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Q <sub>óleo térmico</sub>	Q <sub>Gases</sub>	Q <sub>real entrada</sub>	Q <sub>real saída</sub>	η <sub>real</sub> [%]
2022	Julho	16,791	3,48	3,86	6,38	1,12	11,35	10,05	30,51	22,52	73,79725
	Setembro	20,263	3,48	3,86	5,56	1,39	11,99	10,28	33,17	23,66	71,34294
	Outubro	12,962	3,48	3,86	1,44	0,80	13,58	4,70	21,74	19,08	87,7772
	Novembro	19,977	3,48	3,86	3,81	0,90	13,19	9,46	31,13	23,55	75,64195
2023	Janeiro	22,719	3,48	3,86	4,58	1,14	15,16	10,55	34,65	26,85	77,48737
	Fevereiro	21,291	3,48	3,86	5,11	1,33	16,23	11,16	33,74	28,72	85,11828
	Março	19,921	3,48	3,86	5,04	0,21	16,78	12,04	32,30	29,03	89,87127
	Abril	19,175	3,48	3,86	6,50	1,68	13,09	9,74	33,02	24,50	74,21092
	Maiο	17,243	3,48	3,86	7,02	1,28	14,40	11,10	31,61	26,79	84,7463
	Junho	19,104	3,48	3,86	6,04	1,21	12,46	10,63	32,49	24,30	74,81074
	Julho	18,215	3,48	3,86	6,42	1,33	14,22	11,11	31,97	26,65	83,35884

## A10 – Energia teórica produzida pela caldeira segundo o seu fabricante

### General

Thermal Oil	23,0 MW
Hot Gas (380°C)	26,3 MW
Hot Water	2,9 MW
Total Net Energy Demand	41,7 MW
Efficiency (mainly heat losses ~ 3%)	97%
Total Gross Energy Demand	43,4 MW

## A11 – Biomassa analisada (EBF, EBR e Placa Rejeitada)

Ensaio realizado segundo as normas: CEN – 14918.

### RESULTADOS

Ensaio	$Q_{v,gr,ar}$ kJ/kg	$Q_{p,net,ar}$ kJ/kg	$Q_{v,gr,d}$ kJ/kg	$Q_{p,net,d}$ kJ/kg	Resíduo %
PC2022:Finsa-EBF(S)#1	10353	8 499	20 252	18 959	2,7%
PC2022:Finsa-EBF(S)#2	10387	8 532	20 317	19 025	3,1%
PC2022:Finsa-EBF(S)#3	10398	8 543	20 339	19 046	3,4%
<b>Média</b>	10 379	8 525	20 302	19 010	3,0%
<b>Desvio médio</b>	17	17	34	34	0,2%

Onde:

$Q_{v,gr,ar}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{p,net,ar}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{v,gr,d}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base seca;

$Q_{p,net,d}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, numa amostra numa base seca.

Ensaio realizado segundo as normas: CEN – 14918.

### RESULTADOS

Ensaio	$Q_{v,gr,ar}$ kJ/kg	$Q_{p,net,ar}$ kJ/kg	$Q_{v,gr,d}$ kJ/kg	$Q_{p,net,d}$ kJ/kg	Resíduo %
PC2022:Finsa-EBR(S)#1	14602	13 039	19 144	17 854	1,4%
PC2022:Finsa-EBR(S)#2	14809	13 246	19 415	18 126	3,6%
PC2022:Finsa-EBR(S)#3	14395	12 832	18 872	17 582	2,0%
<b>Média</b>	14 602	13 039	19 144	17 854	2,4%
<b>Desvio médio</b>	138	138	181	181	0,8%

Onde:

$Q_{v,gr,ar}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{p,net,ar}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{v,gr,d}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base seca;

$Q_{p,net,d}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, numa amostra numa base seca.

Ensaio realizado segundo as normas: CEN – 14918.

#### RESULTADOS

Ensaio	$Q_{v,gr,ar}$ kJ/kg	$Q_{p,net,ar}$ kJ/kg	$Q_{v,gr,d}$ kJ/kg	$Q_{p,net,d}$ kJ/kg	Resíduo %
PC2022:Finsa-PR(S)#1	16376	14 911	19 539	18 263	1,7%
PC2022:Finsa-PR(S)#2	16533	15 068	19 726	18 450	1,4%
PC2022:Finsa-PR(S)#3	16417	14 952	19 588	18 312	2,6%
<b>Média</b>	16 442	14 977	19 617	18 342	1,9%
<b>Desvio médio</b>	61	61	72	72	0,5%

Onde:

$Q_{v,gr,ar}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{p,net,ar}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, de uma amostra numa base tal-e-qual;

$Q_{v,gr,d}$  – Poder calorífico superior, a volume constante, de uma amostra numa base seca;

$Q_{p,net,d}$  – Poder calorífico inferior, a pressão constante, numa amostra numa base seca.

## A12 – Implementação de um plano de lubrificação

LTa por local de instalação Processar Ir para(G) Configurações Ambiente(U) Sistema Ajuda

Modificar lista de tarefas por local de instalação: 1ª tela

Lista de tarefas Cabeçalho Operação


Local de instalação 0.MA.01.4309


Perfil do usuário

Perfil	PM01
Nº modificação	
Data fixada	30.06.2023

Critérios para seleção roteiros

Utilização

<b>Finsa</b> finsa.com				<b>ORDEM DE TRABALHO</b> <b>Nº103259050</b>				
SOLICITANTE:		DATA ENTRADA:	29.06.2023	DURAÇÃO ESTIMADA:	0,0 H			
PRIORIDADE: 4 4 PARADA de EQUIPA.		INÍCIO PREVISTO:	04.07.2023	FIM PREVISTO:	04.07.2023			
LOCALIZAÇÃO 0.MA.01.4309		CALDEIRA VYNCKE	LOCAL:					
EQUIPAMENTO:								
POSTO DE TRABALHO:		MEC	Oficina Mecânica					
PLANEJADOR DA OT:								
RESPONSÁVEL PELO TRABALHO:								
DESCRIÇÃO DA OT:		MPL VYNCKE						
PLANO DE TRABALHO		20121	MPL VYNCKE	MGMAO	Nº TOMA: MA_LUB LUBRICACION LUSO FINSA			
PLANO DE TRABALHO		MPL CALDEIRA VYNCKE		Nº TOMA:	12 6 semanas + 1s			
PLANO DE TRABALHO		1						
<b>OPERAÇÕES</b>								
OP.	SUBOP	DESCRIÇÃO	HORAS.					
0050		S/F SEPARADOR DE PAUS-2101M11 EMA430221 EMA430221 S/F SEPARADOR DE PAUS-2101M11  - Verificar nível de óleo do motoreductor, - Lubrificar chumaceiras.						
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0050	100955	OLEO ENGRENAGEM CEPSE HP-320	1	PEC	1010	ARMOLEO		
0050	1004546	@@ACEITE USADO	1	PEC	1010			
0051		EMA430221 S/F SEPARADOR DE PAUS-2101M11  - Lubrificar corrente de tração.						
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0051	66484	MASSA SKF LGMT 2/18 = FAG L78V	1	PEC	1010	ARMOLEO		
0051	1004546	@@ACEITE USADO	1	PEC	1010			
0060		CAÇAMBA EMERGÊNCIA CASCA -2101M41 EMA430222 EMA430222 CAÇAMBA EMERGÊNCIA CASCA -210  - Lubrificar corrente de tração.						
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0060	1004546	@@ACEITE USADO	1	PEC	1010			
Equipe		OT / Aviso	EQUIPAMENTO:					
EMA430222	103136440	MP CAÇAMBA EMERGÊNCIA CASCA -2101M41	0.MA.01.4309.010		MEC			
0090		RODA CEL. TOLVA CASCA-70M1 V001543 EMA430230 EMA430230 RODA CEL. TOLVA CASCA-70M1 V0						
OBSERVAÇÕES:			Vº Bº TECNICO:		Vº Bº RESPONSÁVEL:			
			DATA:		DATA:			

<b>Finsa</b> finsa.com						<b>ORDEM DE TRABALHO</b> Nº103259050		
- Verificar nível de óleo do motoredutor, - Lubrificar chumaceira,								
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0090	37	OLEO CEPISA HP 220 ENGRENAGENS BIDA0 208L	1	PEÇ	1010	ARMOLEO		
0090	66484	MASSA SKF LGMT 2/18 = FAG L78V	1	PEÇ	1010	ARMOLEO		
Equipe		OT / Aviso	EQUIPAMENTO:					
EMA430230	103035677	Substituir contactor de inversão	0.MA.01.4309.010 ELE					
0100		GRUPO S/F ALIMENTAÇÃO CASCA - 71M1-8 EMA430229 GRUPO S/F ALIMENTAÇÃO CASCA -	EMA430229					
- Verificar nível de massa da central de lubrificação,								
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0100	126	GRASA CEPISA ARGALITIO EP 2 ENVASE 185	1	PEÇ	1010	ARMOLEO		
Equipe		OT / Aviso	EQUIPAMENTO:					
EMA430229	103182313	MP GRUPO S/F ALIMENTAÇÃO CASCA - 71M1-8	0.MA.01.4309.010 MEC					
EMA430229	103257737	Aplicar fichas nos motores e ventiladore	0.MA.01.4309.010 ELE					
0105		EMA430229 GRUPO S/F ALIMENTAÇÃO CASCA -						
- Verificar nível de óleo dos motoredutores;								
OP.	Nº MAT	DESCRIÇÃO	QT.RESER.	UN.	ARM.	LOC.	QT.DESP.	UN.
0105	37	OLEO CEPISA HP 220 ENGRENAGENS BIDA0 208L	1	PEÇ	1010	ARMOLEO		
0120		T.P. WET-DUST (FINOS) EMA430233 T.P. WET-DUST (FINOS)	EMA430233					
- Lubrificar chumaceiras do S/F de Alimentação(2201M21), - Verificar nível de óleo do motoredutor do S/F de alimentação(2201M21), - Limpar respiro do motoredutor do S/F de alimentação(2201M21), - Verificar nível de óleo da CHY(2201M11), - Lubrificar chumaceiras do S/F extrator(2201M3), - Verificar nível de óleo do motoredutor do S/F extrator(2201M3), - Limpar respiro do motoredutor do S/F extrator(2201M3), - Lubrificar chumaceiras do S/F extrator nº1 da tolva(90M1), - Verificar nível de óleo do motoredutor do S/F extrator nº1 da tolva(90M1), - Lubrificar chumaceiras do S/F extrator nº2 da tolva(91M1), - Verificar nível de óleo do motoredutor do S/F extrator nº2 da tolva(91M1), - Lubrificar chumaceiras da roda celular nº1(94M1), - Verificar nível de óleo do motoredutor da roda celular nº1(94M1), - Lubrificar chumaceiras da roda celular nº2(95M1), - Verificar nível de óleo do motoredutor da roda celular nº2(95M1).								
0121		EMA430233 T.P. WET-DUST (FINOS)						

<b>Finsa</b> finsa.com						<b>ORDEM DE TRABALHO</b> Nº103259050		
- Lubrificar corrente de tração do S/F alimentação(2201M21), - Lubrificar corrente de tração do S/F extrator(2201M3),								
0201		EMA430325 VENTILADOR REFRIGERAÇÃO MIXIN						
- Lubrificar motor								