



# Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

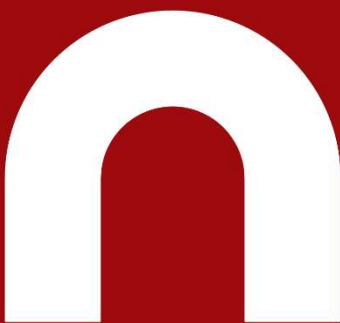
**Projeto e construção de centrais térmicas a biomassa**

Autor

**Nelson Ferreira Agante**

Orientador

**Professor Gilberto Cordeiro Vaz**



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, junho de 2024



# Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

## Projeto e construção de centrais térmicas a biomassa

Relatório de Estágio para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

Especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas  
Térmicos

Autor

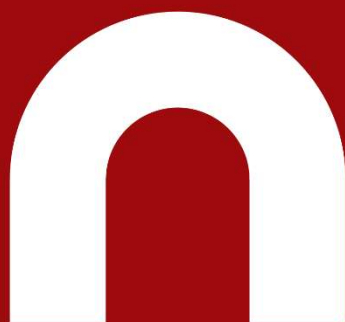
**Nelson Ferreira Agante**

Orientador

**Professor Gilberto Cordeiro Vaz**

Supervisor na empresa Ambitermo, Engenharia e Equipamentos  
Térmicos S.A.

**Eng. João Ferreira**



INSTITUTO POLITÉCNICO  
DE COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR  
DE ENGENHARIA  
DE COIMBRA

Coimbra, junho de 2024

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho marca o fim de uma jornada académica enriquecedora, e neste momento, é com profunda gratidão que expresso os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para o meu sucesso.

Em primeiro lugar, quero expressar a minha sincera gratidão ao Engenheiro João Ferreira, meu supervisor na empresa, pela disponibilidade demonstrada para me orientar durante o período de estágio, pelas suas sugestões, pela elevada quantidade de conhecimento transmitida e pela sua amizade que em muito contribuíram para aprimorar a redação deste relatório.

O meu agradecimento ao Engenheiro Nuno Janicas por toda a confiança depositada em mim ao longo do estágio e por todas as oportunidades de crescimento a nível profissional que me deu dentro da empresa.

À Ambitermo, agradeço pela oportunidade do estágio curricular e pelo começo da minha vida profissional. Aos meus colegas e amigos Dulce, Marcelo e Jorge, o meu obrigado pela constante disponibilidade, apoio, partilha de conhecimentos e pela forma como me receberam e me apoiaram.

Um agradecimento ao professor Doutor Gilberto Vaz, meu orientador, por toda a ajuda dada durante a elaboração deste relatório.

Ao Hugo, um dos meus maiores conselheiros e amigo, que me aturou em momentos menos bons, que me deu aquela força para continuar e que me deu conselhos sábios para ter sucesso nesta jornada.

Um obrigado aos colegas do mestrado pela união e entreatajuda que tivemos para enfrentar as várias dificuldades encontradas ao longo do nosso percurso.

Aos amigos de todos os momentos, Maria e Miguel por me terem sempre levantado quando estive em baixo e por sempre me terem apoiado e um também um obrigado por todos os momentos de alegria e festa que partilhámos.

E o mais importante, um obrigado à minha FAMÍLIA, por acreditarem em mim, por me terem dado motivação e sem dúvida que sem eles nada disto seria possível.

## **Resumo**

O presente relatório consiste num documento final de curso, no qual é exposto não só todo o tipo de atividades desenvolvidas como todos os conhecimentos adquiridos na empresa Ambitermo. Este mesmo estágio é apresentado no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, área de especialização em Projeto, Instalação e Manutenção de sistemas Térmicos, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, para obtenção do grau de Mestre nesta área.

Ao longo de todo o estágio, o aluno participou em diversas atividades da empresa e passou por vários departamentos, destacando-se os departamentos de projeto, de assistência técnica e de orçamentação.

O aluno teve oportunidade de participar em todos os estágios de conceção de um gerador de vapor a biomassa, nos quais se destacam a proposta e orçamentação, dimensionamento térmico e de fluidos, dimensionamento mecânico e comissionamento, com especial relevância na escolha de válvulas e instrumentação. A experiência e conhecimentos adquiridos no projeto e construção deste tipo de geradores de vapor serão expostos no presente relatório.

**Palavras-Chave:** Gerador de Vapor, Caldeira, Economizador, Biomassa

## **Abstract**

The present essay consists in a master's degree final document, in which is exposed all the knowledge, activities performed in the company Ambitermo. This internship was carried out within the scope of the master's degree in mechanical engineering, specializing in Design, Installation and Maintenance of Thermal Systems, at the Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, and is a necessary curricular unit to obtain the master's degree in the same area.

Along the internship the student has had the opportunity to participate in multiple activities of the company and worked in several departments like project, technical assistance and budgeting.

The student had the opportunity to participate in all stages of designing a biomass steam generator, in which the proposal and budgeting, thermal and fluid sizing, mechanical sizing and commissioning stand out, with special relevance in the choice of valves and instrumentation. All the experience and knowledge acquired in this type of steam generators will be exposed in this report.

**Keywords:** Steam Generator, Boiler, Economizer, Biomass

# **1 ÍNDICE**

Agradecimentos .....	i
Abstract .....	iii
1. Introdução .....	1
1.1 Enquadramento e objetivo .....	1
1.2 Organização do relatório.....	2
1.3 Apresentação da empresa .....	2
2 Gerador de vapor a biomassa .....	4
2.1 Enquadramento legal.....	6
2.2 Descrição dos componentes principais.....	9
2.2.1 Corpo tubular do gerador de vapor .....	9
2.2.2 Sistema de queima .....	10
2.2.3 Grelha móvel.....	13
2.2.4 Remoção de cinzas.....	15
2.2.5 Alimentação de biomassa.....	16
2.2.6 Instrumentação do sistema de queima .....	17
2.2.7 Alimentação de água à caldeira .....	17
2.3 Sistema de controlo e segurança.....	18
2.3.1 Quadro de comando .....	18
2.3.2 Sistema de regulação e controlo .....	19
2.3.3 Sistema de controlo do nível de água .....	20
2.3.4 Nível de água/segurança de nível.....	20
2.3.5 Sistema de controlo da pressão da caldeira/queima .....	21
2.3.6 Sistema de segurança de pressão da caldeira/queima.....	22
2.4 Equipamentos complementares .....	23
2.4.1 Economizador de calor .....	23
2.4.2 Ventilador de extração de gases.....	24
2.4.3 Chaminé .....	24
2.5 Tratamento de gases .....	25
2.5.1 Multiciclone .....	26
2.5.2 Filtro de mangas .....	26
2.6 Sistema de armazenamento de biomassa .....	28

2.6.1	Silo horizontal para biomassa florestal.....	28
3	Orçamentação .....	30
3.1	Classes do orçamento .....	30
3.1.1	Corpo caldeira standard .....	31
3.1.2	Fornalha com grelha móvel.....	33
3.1.3	Economizador vertical liso .....	33
4	Cálculos térmicos.....	34
4.1	Cálculo do volume de gases por kg de combustível .....	35
4.2	Cálculo do rendimento .....	36
4.3	Cálculo da potência, caudal de gases e consumo de combustível.....	37
5	Instrumentação .....	38
5.1	Equipamento da caldeira.....	38
5.1.1	Manómetro .....	38
5.1.2	Sonda de pressão .....	39
5.1.3	Pressostato .....	39
5.1.4	Eléctrodo de transmissão de nível .....	40
5.1.5	Eléctrodo de segurança de nível muito baixo .....	41
5.1.6	Indicadores de nível.....	42
5.1.7	Válvulas de purga e drenagem .....	43
5.1.8	Válvula de corte de vapor .....	45
5.1.9	Válvula de corte da alimentação de água .....	46
5.1.10	Válvula de segurança.....	47
5.1.11	Visor de purgas e arrefecedor de amostras.....	49
5.1.12	Válvulas de purga dos coletores da fornalha e câmara de inversão ...	50
5.2	Grupo de bombagem .....	51
5.2.1	Seleção da bomba.....	51
5.2.2	Equipamento do grupo de bombagem .....	56
5.3	Instrumentação da fornalha e circuito de gases.....	58
5.3.1	TopLoader .....	58
5.3.2	Transportadores de tela.....	59
5.3.3	Alimentador.....	60
5.4	Fornalha .....	64
5.5	Grelha móvel.....	65

*Projeto e construção de centrais térmicas a biomassa*

5.6	Ventiladores e circuito de ar de combustão .....	67
5.6.1	Dimensionamento de condutas e ventiladores .....	67
5.7	Ventiladores e circuito de gases de combustão .....	69
5.8	Economizador.....	70
6	Conclusões.....	71
	Referências Bibliográficas .....	72
	Anexo 1-Boletim de análises à biomassa .....	73
	Anexo 2-Ficheiro gerado pela ferramenta Leser VALVESTAR.....	75

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1- Logótipo da empresa Ambitermo-Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A.®.....	2
Figura 2- Caldeira a biomassa Ambitermo a abandonar a fábrica. ....	3
Figura 3- Comparação de preços entre o GN e a biomassa florestal em janeiro de 2023.....	4
Figura 4- Implantação do G.V. a biomassa.....	5
Figura 5- Corpo tubular de uma caldeira a biomassa. ....	9
Figura 6-Desenho de montagem do sistema de queima. ....	12
Figura 7 - Cilindros e interior de uma grelha móvel.....	14
Figura 8 - Instalação de uma grelha móvel e identificação dos componentes.....	14
Figura 9 - Sem-fim de cinzas.....	15
Figura 10 - Alimentador.....	16
Figura 11 - Grupo de bombagem.....	18
Figura 12 - Quadro elétrico.....	19
Figura 13 - Consola HMI.....	20
Figura 14 - Economizador de calor gastubular.....	23
Figura 15 - Multiciclone.....	26
Figura 16 - Filtro de mangas.....	28
Figura 17 - Silos de armazenamento de biomassa tipo TopLoader.....	29
Figura 18 - Manómetro.....	38
Figura 19- Sonda de pressão.....	39
Figura 20- Pressostato.....	39
Figura 21 - Montagem do equipamento de medição e controlo de pressão.....	40
Figura 22- Eléctrodo de transmissão de nível.....	40
Figura 23-Eléctrodo de segurança de nível.....	41
Figura 24--Montagem de ambos os eléctrodos no corpo de pressão.....	42
Figura 25 - Indicadores de nível.....	43
Figura 26 - Montagem da Válvula de purga de fundo + Válvula MEF PEKOS....	44
Figura 27 - Sonda LRGT 16-3 + Válvula BAE 46-3.....	45
Figura 28 - Válvula de Globo DN200 PN16 na saída de vapor da caldeira.....	46
Figura 29 - Válvula de Globo DN65 PN16 na alimentação de água ao G.V.....	47

Figura 30 - Válvulas de segurança Leser DN80 125 PN16.....	49
Figura 31 - Visor de purgas. ....	49
Figura 32 - Arrefecedor de amostras VYC.....	49
Figura 33 - Válvula Valsteam VPA46/2. ....	50
Figura 34 - Quadro de resultados do dimensionamento. ....	53
Figura 35 - Mosaico das bombas da ferramenta de Seleção da Grundfos .....	53
Figura 36 - Comparação do alcance das curvas das bombas. À esquerda CR20-10, à direita CR15-12.....	54
Figura 37 - Especificações técnicas da bomba e apresentação do ponto de funcionamento a 50Hz.....	55
Figura 38 - Esquema de uma instalação de 2 bombas em paralelo. ....	57
Figura 39 - Pré-montagem de um grupo de bombagem em fábrica. ....	57
Figura 40 - Arrastador robotizado. ....	58
Figura 41-Transportador de tela.....	59
Figura 42 - Sonda Endress+Hauser Soliswitch FTE20.....	60
Figura 43 - Unidade hidráulica do alimentador. ....	60
Figura 44 - Esquema hidráulico da unidade do alimentador. ....	61
Figura 45 - Montagem em fábrica de uma parte do sistema de extinção de incêndios. ....	62
Figura 46 - Esquema de princípio do sistema de deteção e combate a incêndio no alimentador.....	63
Figura 47 - Termopar tipo K + Cana pirométrica.....	64
Figura 48 - Sonda E+H Deltabar M PMD55.....	64
Figura 49 - Grelha móvel em testes de fábrica.....	65
Figura 50 - Esquema de princípio do funcionamento da grelha móvel.....	66
Figura 51 - Curva dos ventiladores do ar de combustão.....	68
Figura 52 - Curva característica do ventilador de extração.....	69
Figura 53-Boletim de análises à biomassa.....	76

## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1- Características da caldeira em estudo. ....	5
Tabela 2- Dados técnicos de um sistema de queima com área de 15,4 m <sup>2</sup> de grelha móvel. ....	11
Tabela 3- Especificações técnicas da grelha móvel.....	14
Tabela 4 - Características das bombas a aplicar.....	17
Tabela 5 - Características do economizador.....	24
Tabela 6 - Características do ventilador de extração de gases.....	24
Tabela 7-Valores limite de emissões de centrais térmicas. ....	25
Tabela 8 - Características do filtro de mangas. ....	27
Tabela 9 - Características dos TopLoader. ....	29
Tabela 10 - Estimativa de quantidades do tubular.....	31
Tabela 11 - Resumo de quantidades da instrumentação.....	32
Tabela 12 - Tabela de quantidades do sistema de queima. ....	33
Tabela 13 - Características de uma amostra de biomassa. ....	34

### **Simbologia e abreviaturas**

ISEC-Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

ICNF- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

G.N.-Gás Natural

G.V.- Gerador de Vapor

PCS-Poder calorífico superior do combustível

PCI-Poder calorífico inferior do combustível

ITC-Instrução Técnica Complementar

PLC- Controlador Lógico Programável

P.I.D.- Controlador proporcional integral derivativo

SIL-Safety Integrity Level

LSLL-Nível de água muito baixo no G.V.

NWL-Nível normal de água no G.V.

MIC-Médias Instalações de Combustão



## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Enquadramento e objetivo**

O estágio na empresa Ambitermo teve início em outubro de 2022 com uma apresentação da empresa e do seu modo de funcionamento, terminando este em julho de 2023.

O estágio tem como principal objetivo que o aluno aplique numa realidade próxima ao mercado de trabalho os conhecimentos que adquiriu no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica, na área de especialização de Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos, do Instituto superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) e também ganhar experiência em contexto empresarial e uma eventual inserção no mercado de trabalho. Para obtenção do grau de mestre a elaboração deste relatório foi obrigatória.

Ao longo do estágio o aluno teve como objetivos:

- Adquirir conhecimento sobre o funcionamento da empresa assim como a sua divisão pelos vários departamentos;
- Realizar o trabalho de acompanhamento de obras e do arranque de uma caldeira a biomassa;
- Fazer o dimensionamento de tubagem de vapor e água e escolher todo o equipamento e instrumentação que compõem uma caldeira a biomassa;
- Comunicar com fornecedores de modo a saber escolher a quem comprar o produto.

O aluno teve a oportunidade de passar por diversos departamentos com destaque para a Orçamentação onde pôde orçamentar a venda de diversos equipamentos além de caldeiras a biomassa e o Departamento de Engenharia e Desenvolvimento onde passou a maioria do estágio e onde também adquiriu a grande maioria dos conhecimentos relativos ao desenvolvimento de centrais térmicas.

Devido ao início da guerra na Ucrânia e ao forte aumento dos preços do gás natural muitas empresas viram-se obrigadas a procurar combustíveis alternativos sendo que a biomassa foi um dos combustíveis mais escolhidos para esta transição. Nesse sentido, a Ambitermo disponibilizou no mercado a solução de centrais a biomassa com grelha móvel do tipo chave na mão sendo estas adquiridas por bastantes clientes a nível nacional e que revelaram ser um sucesso comercial, tendo sido nestas o principal foco do estágio do aluno.

## **1.2 Organização do relatório**

O presente relatório encontra-se estruturado em 6 capítulos.

Capítulo 1 – No capítulo “Introdução” são definidos os objetivos e enquadramento do estágio assim como efetuada uma breve apresentação da empresa acolhedora.

Capítulo 2 – Intitulado “Composição de uma central térmica a Biomassa”. Neste capítulo é efetuada uma apresentação e explicação do funcionamento dos principais elementos constituintes de uma central térmica a biomassa.

Capítulo 3- Designado de “Orçamentação”. Neste capítulo é explicado todo o processo de orçamentação, desde o pedido do cliente até à confirmação de encomenda.

Capítulo 4 – “Dimensionamento térmico”. Neste capítulo é efetuada uma demonstração de como fazer um simples dimensionamento térmico de uma caldeira a biomassa com base em análises em laboratório acreditado.

Capítulo 5 – Denominado “Instrumentação”. Neste capítulo é efetuada uma análise e explicação de como fazer a escolha de toda a instrumentação que permite o correto funcionamento de uma caldeira a biomassa.

Capítulo 6 – Por fim, no capítulo “Conclusões” apresentam-se as principais conclusões deste estágio.

## **1.3 Apresentação da empresa**

A empresa Ambitermo - Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A. é uma empresa detida maioritariamente pelo grupo Visabeira (51%) e que se dedica à conceção, projeto, produção, instalação e manutenção de equipamentos da área da Engenharia Térmica. Estas soluções são desenvolvidas à medida dos clientes e sempre em conformidade com as normas europeias e marcação CE. A empresa trabalha com vários setores da sociedade, destacando-se os setores industrial, hoteleiro, hospitalar, de ensino, parques tecnológicos, empresas públicas e gabinetes de engenharia.



Figura 1- Logótipo da empresa Ambitermo-  
Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A.®

A especialidade da empresa é a conceção de geradores de vapor industriais, área onde tem uma grande experiência já há mais de 25 anos, quando foi fundada pela mão do Eng. Alcides Moreira, atual administrador e responsável pelo departamento

comercial. A sua experiência anterior como diretor técnico da TERMEC, onde trabalhou mais de 20 anos na área de projeto e instalação de caldeiras e sistemas integrados em aplicações industriais foi essencial para a fundação da Ambitermo.

Aquando da sua formação em 1992, a empresa beneficiou também da vinda de alguns técnicos da TERMEC juntamente com o sr. Eng. Alcides Moreira, o que facilitou o arranque da empresa beneficiando do conhecimento e experiência dos mesmos. Na época a empresa possuía as suas instalações na Pedrulha, em Coimbra. Em 2007, por forma a poder crescer, a empresa mudou-se para as suas instalações atuais na Zona Industrial de Cantanhede. Atualmente fornece emprego a 100 trabalhadores com formações distintas, como soldadores certificados, engenheiros mecânicos, engenheiros eletrotécnicos, engenheiros químicos, serralheiros, eletricitas e técnicos.

Atualmente as principais áreas de atuação da Ambitermo são:

- Conceção, projeto, desenvolvimento, fabrico e fornecimento de caldeiras industriais a diversos combustíveis;
- Projetos de engenharia chave-na-mão para o setor industrial e serviços;
- Conversão de queimadores nomeadamente para Gás Natural;
- Assistência técnica em engenharia industrial, energética e AVAC.

Com a guerra na Ucrânia e o forte aumento do preço do gás natural, o combustível mais utilizado em Portugal Continental para abastecer caldeiras, a Ambitermo fez a aposta em soluções de engenharia tipo chave-na-mão de centrais térmicas a biomassa que será sobre as quais o presente relatório de estágio se irá basear (Fig. 2).



Figura 2- Caldeira a biomassa Ambitermo a abandonar a fábrica.

## 2 GERADOR DE VAPOR A BIOMASSA

Com o desenrolar da guerra na Ucrânia verificou-se uma escalada no preço do gás natural. Em janeiro de 2023 os preços correntes de G.N. e de Biomassa florestal eram os que se apresentam na Figura 3:


		Comparação dos Custos da Tonelada de Vapor produzido em caldeiras com diversos combustíveis disponíveis no Mercado					Data
							19/01/2023
Combustível	GN	Pellets industrial	Estilha seca	Estilha húmida	Biomassa florestal	PKS	
Poder Calorífico Inferior	38,72 MJ/Nm <sup>3</sup> 10,75 kWh/Nm <sup>3</sup>	17,42 MJ/kg 4,80 kWh/kg	16,30 MJ/kg 4,00 kWh/kg	11,50 MJ/kg 3,20 kWh/kg	9,60 MJ/kg 2,67 kWh/kg	20,48 MJ/kg 4,90 kWh/kg	
Preço de referência *)	0,71 € /Nm <sup>3</sup>	300,00 € /ton	180,00 € /ton	90,00 € /ton	55,00 € /ton	300,00 € /ton	
Energia requerida por ton de vapor **)	690 kWh	717 kWh	725 kWh	738 kWh	738 kWh	717 kWh	
Consumo combustível por tonelada vapor	64,2 Nm <sup>3</sup>	149,4 kg	181,3 kg	230,6 kg	276,4 kg	146,3 kg	
Custo combustível por tonelada de vapor	<b>45,83 €</b>	<b>44,81 €</b>	<b>32,63 €</b>	<b>20,76 €</b>	<b>15,20 €</b>	<b>43,90 €</b>	
*) Preço do KWH x 11,9 **) 10 bar; Temperatura água a lim = 104°C							
AMBITERMO - Engenharia e Equipamentos Térmicos, S.A. Telefone: 1351 231 410 210   fax: 1351 231 410 211   web: www.ambitermo.com							

Figura 3- Comparação de preços entre o GN e a biomassa florestal em janeiro de 2023.

Dada a significativa diferença de preço por tonelada de vapor entre o gás natural e a biomassa as empresas sentiram a necessidade de fazer a diversificação de combustíveis e começaram a apostar em caldeiras a biomassa, um combustível em abundância em Portugal. Segundo o ICNF, em 2015, as florestas ocupam 6,2 milhões de hectares (69,4%) do território nacional continental. Destes 6,2 milhões de hectares 845 mil são constituídos por eucalipto. Por ser tão abundante, a biomassa de eucalipto é a mais escolhida pelos clientes para abastecer os geradores de vapor. Esta biomassa é resultante da limpeza dos terrenos após o corte do eucaliptal sendo na sua maioria constituída por folhas e paus pertencentes às ramadas.

Para este documento ser entendido é necessário fazer uma abordagem e identificação dos componentes de uma caldeira a biomassa produzida pela Ambitermo, assim como os seus princípios de funcionamento.

Toda a descrição dos componentes assim como o seu dimensionamento terão por base um gerador de vapor a biomassa com um timbre de 12 bar e uma produção de vapor de 16 ton/h, cuja implantação será demonstrada Figura 4 e a sua tabela de características na Tabela 1.

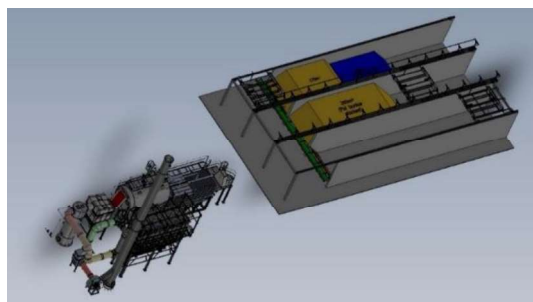


Figura 4- Implantação do G.V. a biomassa.

Tabela 1- Características da caldeira em estudo.

Marca		Ambitermo
Código de construção		Normas europeias
Número de caldeiras		1
Modelo		SBL
Produção em regime de contínuo	[ton/h]	16
Timbre/Pressão máxima admissível	[bar]	12
Pressão de serviço	[bar]	10
Temperatura do vapor saturado	[°C]	184
Combustível		Biomassa florestal Humidade $\leq 40\%$ Cinzas – Aprox. 2%
P.C.I.	[kJ/kg] [kcal/kg]	9000 2153
Rendimento térmico a plena carga c/eco		89% $\pm 1$
Consumo de combustível p/16 ton/h de vapor	[kg/h] [kg/dia]	4728 113472
Produção de cinzas p/16 ton/h de vapor	[kg/h] [kg/dia]	170 4080
Volume de água ao nível médio	[m <sup>3</sup> ]	28
Volume total da câmara de vapor	[m <sup>3</sup> ]	6
Volume total	[m <sup>3</sup> ]	34
Potência térmica	[Kcal/h] [kW]	10163370 11820
Potência térmica útil	[Kcal/h] kW	8942390 10400
Dimensões		
Comprimento	[mm]	8500
Largura	[mm]	4100
Altura	[mm]	3900
Peso da caldeira vazia	Ton	37
Peso da caldeira cheia	Ton	72

## **2.1 Enquadramento legal**

Na área dos equipamentos sob pressão a legislação em vigor é bastante rigorosa e é imprescindível que seja respeitada pois a integridade física de terceiros poderá estar em risco e tanto o projeto como a instalação poderão ser reprovados pelo organismo notificado. Em seguida irão ser apresentados os principais documentos legislativos pelo qual a área dos ESP e geradores de vapor se regem.

- Decreto-Lei 39/2018 - Emissões Gasosas

Este Decreto-Lei estabelece o regime de prevenção e controlo das emissões de poluentes para o ar e procede à revisão do regime jurídico de prevenção e controlo das emissões poluentes para o ar. Estabelece, ainda, o regime de licenciamento das emissões para o ar, com a criação do Título de Emissões para o Ar (TEAR), integrado no Título Único Ambiental (TUA), instituído no âmbito do Regime de Licenciamento Único de Ambiente, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 75/2015, de 11 de maio. É aplicável às fontes de emissão de poluentes para o ar associadas às instalações de combustão com uma potência térmica nominal igual ou superior a 1 MW e inferior a 50 MW, independentemente dos setores de atividade em que estejam inseridas, bem como às fontes associadas às atividades industriais.

- Decreto-Lei n.º 111-D/2017, de 31 de agosto

Este Decreto-Lei estabelece as regras aplicáveis à disponibilização no mercado de equipamentos sob pressão, transpondo a Diretiva n.º 2014/68/eu.

Este Decreto-Lei visa garantir que os equipamentos sob pressão ou conjuntos novos produzidos por um fabricante sediado na União Europeia ou os equipamentos sob pressão ou conjuntos, quer novos, quer usados, importados de um país terceiro colocados no mercado, satisfazem requisitos que asseguram um elevado nível de proteção da saúde e da segurança das pessoas, dos animais domésticos e dos bens. Por outro lado, o diploma visa ainda garantir que todos os intervenientes no processo conhecem e cumprem as suas obrigações para com o mercado.

- Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto

Este Decreto-Lei aprova o Regulamento de Instalação e de Funcionamento de Recipientes sob Pressão Simples e de Equipamentos sob Pressão.

- Despacho 22332/2001, de 30 de outubro

Este Despacho aprova a instrução técnica complementar (ITC) para geradores de vapor e equiparados.

- Diretiva n.º 2014/68/UE

Esta Diretiva aplica-se ao projeto, fabrico e avaliação de conformidade de equipamentos estacionários sob pressão com pressão máxima admissível superior a 0,5 bar.

- Norma EN 12953-1:2012: “Shell boilers - Part 1: General”

Esta Norma Europeia aplica-se a caldeiras gastubulares com volume superior a 2 litros para produção de vapor e/ou água quente a uma pressão máxima admissível superior a 0,5 bar e com uma temperatura superior a 110°C.

- Norma EN12953-2:2012: “Shell boilers - Part 2: Materials for pressure parts of boilers and Accessories”

Esta norma europeia é referente aos materiais para as peças que suportam pressão de caldeiras gastubulares e equipamentos de caldeiras das mesmas (por exemplo, válvulas), sujeitos a pressão interna e externa, incluindo acessórios.

- Norma EN12953-3:2016: “Part 3: Design and calculation for pressure parts”

Esta parte da norma é referente aos requisitos específicos para o desenho e cálculo de peças sob pressão em caldeiras gastubulares como definido em EN 12953-1.

- Norma EN12953-4:2018: “Part 4: Workmanship and construction of pressure parts of the boiler”

Esta norma europeia especifica os requisitos para trabalho e construção de caldeiras gastubulares como definido em EN 12953-1.

- Norma EN12953-5:2020: “Part 5: Inspection during construction, documentation and marking of pressure parts of the boiler”

O capítulo 5 da norma faz referência à inspeção durante a construção, à documentação necessária e à marcação CE do produto final.

- Norma EN12953-6:2011: “Part 6: Requirements for equipment for the boiler”

Esta parte da norma europeia especifica os requisitos mínimos para segurança relativa a equipamento para caldeiras gastubulares como definido na norma EN 12953-1, que assegura que a caldeira trabalha dentro dos limites aceitáveis (temperatura, pressão, etc.) e se estes limites forem excedidos o suprimento de energia é interrompido e bloqueado sem intervenção manual (humana) na caldeira.

- Norma EN12953-7:2002: “Part 7: Requirements for firing systems for liquid and gaseous fuels for the boilers”

Esta parte da norma europeia especifica os requisitos dos sistemas de queima para combustíveis líquidos e gasosos aplicáveis a caldeiras gastubulares, independentemente do grau de supervisão. Para sistemas de queima multicomcombustível usando queimadores separados ou combinados, estes requisitos aplicam-se à parte de queima de óleo e/ou gás envolvida.

Esta parte da norma especifica as medidas de segurança melhoradas necessárias quando vários combustíveis são queimados simultaneamente.

- Norma EN12953-8:2001: “Part 8: Requirements for firing systems for liquid and gaseous fuels for the boilers”

No capítulo 8 da norma 12953 são especificados os requerimentos para sistemas protetores contra excesso de pressão em caldeiras gastubulares como definido na norma EN12953-1.

- Norma EN12953-9:2007: “Part 9: Requirements for limiting devices of the boiler and accessories”

Esta Norma Europeia especifica requisitos para limitadores (ou dispositivos limitadores) que são incorporados em sistemas de segurança para caldeiras gastubulares, conforme definido na EN 12953-1.

- Norma EN12953-10:2003: “Part 10: Requirements for feedwater and boiler water quality”

Esta norma europeia especifica os requisitos mínimos para a qualidade da água de alimentação das caldeiras gastubulares conforme 12953-1. Com esta norma é garantido que a qualidade da água não compromete a qualidade do vapor/água quente e garante também que o risco de corrosão e perda de eficiência térmica são diminuídos.

- Norma EN12953-11:2003: “Part 11:Acceptance tests”

Esta norma europeia especifica os métodos utilizados para conduzir testes de desempenho térmico recorrendo a procedimentos indiretos (perdas) para caldeiras de vapor ou água quente. Os resultados são baseados no poder calorífico bruto ou líquido do combustível (usando o PCI ou o PCS).

- Norma EN12953-12:2003: “Part 12: Requirements for grate firing systems for solid fuels for the boiler”

Esta norma europeia especifica os requisitos para sistemas de queima de combustíveis sólidos com grelha internos ou externos, começando nos silos de reserva de combustível e terminando no local de extração de cinzas. Para a combinação de vários sistemas de queima, os requisitos individuais de cada sistema também se aplicam.

- Norma EN12953-13:2012: “Part 13:Operating instructions”

Nesta norma são identificados os requerimentos das instruções de funcionamento que o fabricante deve disponibilizar para colocar o produto especificado segundo a norma EN 12953-1 quando colocado no mercado.

- Norma EN12953-14:2012: “Part 14: Guideline for involvement of an inspection body independent of the manufacturer”

Esta norma serve como guia para o envolvimento de um organismo de inspeção externo ao fabricante de caldeiras gastubulares de acordo com a norma EN12953-1.

## **2.2 Descrição dos componentes principais**

### **2.2.1 Corpo tubular do gerador de vapor**

O corpo evaporativo é monobloco, de desenvolvimento horizontal do tipo tubos de fumo, de tripla passagem de gases e com câmara de inversão de gases de fumo, como representado na Figura 5. É isolado com lã mineral protegido por um revestimento exterior metálico.

Será constituído por:

- Virolas em chapa de aço na qualidade P355GH, segundo a EN-10028-2;
- Tampos anterior e posterior em material P295GH;
- Câmara de inversão interior;
- Tubos de passagem de gases em aço P235GH, segundo a EN10216-2;
- Ancoragens de canto em chapa de aço na qualidade P295GH;
- Chapas de choque nas saídas de vapor com a finalidade de tornar o vapor seco;
- Câmara de inversão de gases, equipada com portas de limpeza dos tubos de fumo, ligada ao fundo anterior e fazendo parte do corpo.

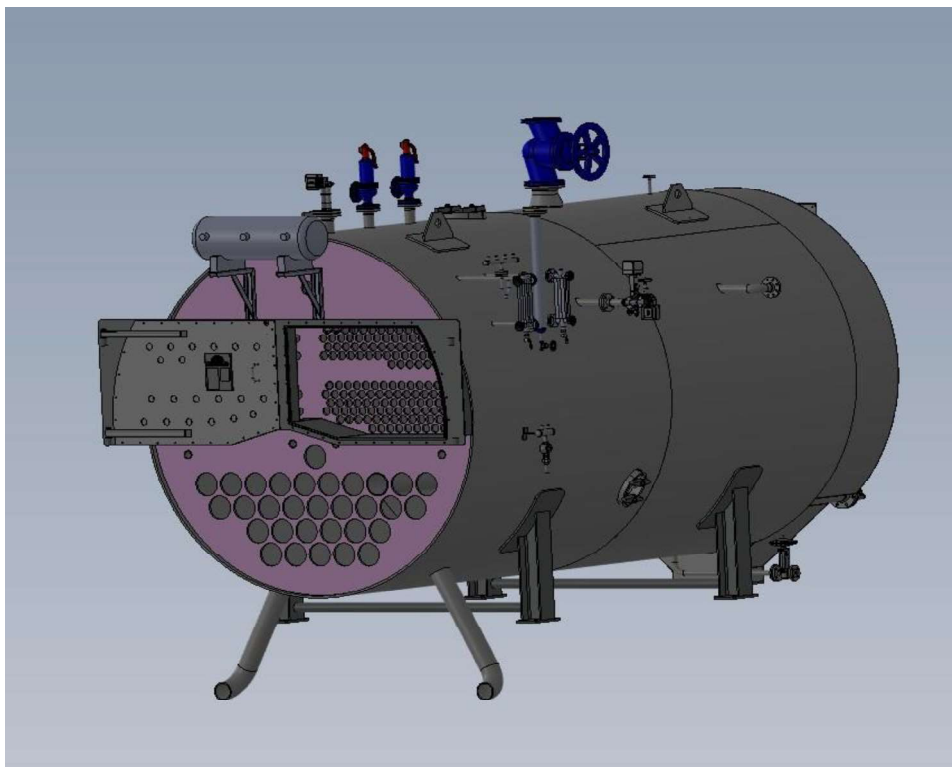


Figura 5- Corpo tubular de uma caldeira a biomassa.

### **2.2.2 Sistema de queima**

Para conseguirmos ter acesso à energia química contida na biomassa é necessário proceder à sua combustão. Para a mesma se realizar é necessário ter acesso a equipamento onde se possa fazer a preparação do combustível de modo que a combustão possa começar e ser mantida (Juanico, 1992).

Para começar a combustão, as seguintes condições têm de estar garantidas:

- Garantir a temperatura de ignição;
- Existir um sistema de ignição que garanta o início da combustão;
- Existência de oxigénio para sustentar a combustão.

Para esta combustão se manter terá de haver tempo, temperatura e turbulência.

Como a queima dos combustíveis sólidos é mais difícil de se iniciar, é necessário recorrer ao uso de combustíveis líquidos ou gasosos que servirão como sistema de ignição. Para se iniciar a combustão de qualquer combustível sólido, e sendo neste caso a combustão de biomassa florestal, o mesmo tem de passar pelas seguintes fases se pela ordem indicada: secagem/gaseificação/ignição/queima total.

A secagem, no caso da instalação em estudo, será efetuada no interior da fornalha e a sua gaseificação será iniciada pelo combustível líquido selecionado para o sistema de ignição e mantida pelo calor libertado pela queima da biomassa. Uma vez conseguida a ignição, a combustão e queima total serão auto sustentadas (Juanico, 1992).

Sendo que a queima de combustíveis sólidos provoca a libertação de partículas sólidas e líquidas poluentes, o sistema de queima considerado consegue diminuir a quantidade emitida dos mesmos para a atmosfera.

Depois de realizado o estudo para o sistema de queima a adotar, optou-se por um sistema com fornalha e grelha móvel descrito nos parágrafos seguintes para que seja possível efetuar a queima da biomassa da forma mais eficiente e automática possível.

A fornalha, ou câmara de combustão, assenta sobre uma grelha móvel, e é composta parcialmente por paredes em material refratário que garantem inércia máxima ao sistema e por paredes tubulares arrefecidas a água pela circulação natural da água da caldeira. Estas paredes são constituídas em tubo alhetado, aumentando a superfície de permuta de calor antes da entrada dos gases no corpo tubular evaporativo, como evidenciado na Figura 6.

A ligação entre a câmara de combustão e tubos da caldeira é protegida por material isolante. Esta ligação é feita através de coletores superiores e inferiores interligados entre si pelos feixes tubulares, o que torna a câmara de combustão estanque.

A câmara de combustão é composta pelos seguintes materiais:

- Coletores inferiores em tubo de aço sem costura P235GH, segundo EN 10216-2;
- Coletor superior em tubo de aço sem costura P235GH, segundo EN 10216-2;
- Tubos de ligação entre os dois coletores formando a parede tubular, em tubo de aço sem costura, na qualidade P235GH, segundo a EN10216-2;
- Isolamento em lã de rocha de 200 mm de espessura, com uma densidade de 100 kg/m<sup>3</sup>, protegido mecanicamente por chapa de alumínio de 1 mm de espessura. Este isolamento garante que a temperatura na chapa de revestimento seja inferior a 40 °C acima da temperatura envolvente.
- Aprovação de construção segundo a norma EN12952;
- Paredes frontal e traseira, em tijolo refratário, cobertas por placas isolantes de Ceraboard 100;
- Portas de limpeza e inspeção, em ferro fundido, revestidas internamente por refratário, localizada na parede frontal.

Tabela 2- Dados técnicos de um sistema de queima com área de 15,4 m<sup>2</sup> de grelha móvel.

<b>Dados</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Potência térmica nominal	MW	13,5	
Potência térmica da caldeira	MW	4,0	12,0
Combustível		Biomassa Florestal	
Teor de humidade	%	8	50
Poder calorífico	kJ/kg	9000	18800
Poder calorífico de projeto	kJ/kg	9000	
Quantidade de cinzas/inertes	%	0	9
Eficiência de queima	%	99	100
Carga da fornalha	%	30	100
Temperatura dos gases na fornalha	°C	850	1000
Carga térmica na grelha	kW/m <sup>2</sup>	450	650

A queima da biomassa será efetuada no interior desta fornalha é realizada com recurso a uma grelha móvel com as seguintes características:

- Grelha arrefecida a ar, com zonas independentes de controlo de ar primário e controlo de avanço da grelha;
- Ventiladores independentes para ar primário e secundário;
- Entradas de ar secundário com controlo independente;
- Alimentação de combustível com recurso a um alimentador com um empurrador hidráulico;
- Remoção automática de cinzas por empurradores hidráulicos e transportador tipo sem-fim, que permite um funcionamento contínuo da caldeira.

As características térmicas da grelha móvel mostram-se na Tabela 2.

O sistema de queima é constituído pelos seguintes equipamentos, :

- Base estrutural;
- Caixa de ar com isolamento;
- Grelha móvel;
- Alimentação de combustível com sistema antirretorno de chama;
- Sistema de remoção de cinzas;
- Conduatas de ar;
- Ventiladores de ar primário e secundário;
- Grupo hidráulico para movimento das grelhas e remoção de cinzas;
- Fornalha com isolamento e refratário;
- Portas de visita e visores;
- Instrumentação diversa.

Todos estes equipamentos são visíveis na Figura 6.

As correntes de ar para combustão são divididas entre primárias e secundárias. O ar primário entra na câmara de combustão através dos orifícios da grelha. Os orifícios são projetados para distribuir o ar adequadamente por toda a superfície da grelha. O ar secundário é fornecido acima da camada do combustível.

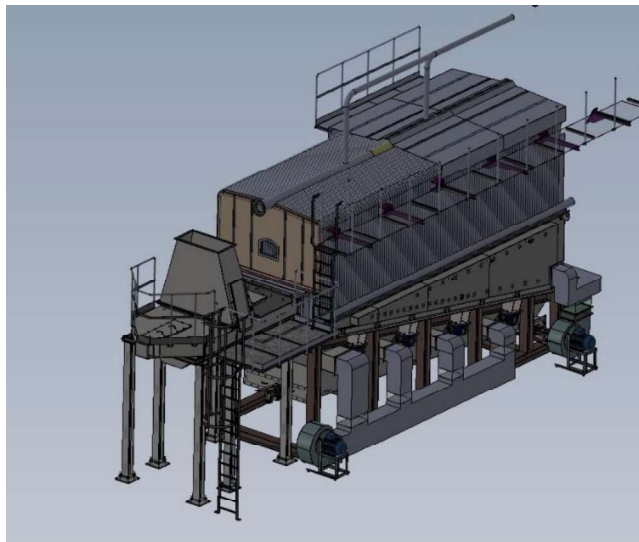


Figura 6-Desenho de montagem do sistema de queima.

### **2.2.3 Grelha móvel**

Neste tipo de grelha, o combustível é espalhado sobre ela com recurso ao alimentador e é obrigado a deslizar passando de plataforma em plataforma devido aos movimentos oscilantes provocados pelos cilindros hidráulicos. Este movimento faz deslizar o combustível pela grelha e facilita a entrada de ar pela parte inferior da mesma garantindo uma uniforme distribuição de ar e de biomassa ao longo da grelha que está concebida para a queima de biomassa com um teor de cinzas até cerca de 9%.

A grelha é dividida em três zonas distintas, independentes, com controlo separado para o ar primário e velocidade de avanço. Na parte superior faz-se a secagem do combustível que irá em seguida deslizar para a parte intermédia que será a zona de gasificação e onde se fará a libertação de matérias voláteis e na parte final da grelha já estarão apenas as cinzas provenientes da combustão completa.

O combustível entra na grelha através do alimentador, cujo funcionamento será explicado no capítulo 2.2.5. A grelha, é construída no material especificado na Tabela 3 e é constituída por elementos fixos e móveis, sendo estes os responsáveis pelo andamento do combustível sobre a grelha. A estrutura da grelha assenta sobre roletes, com chumaceiras nas extremidades. Cada secção longitudinal da grelha é equipada com um cilindro hidráulico acoplado a uma unidade hidráulica controlada pelo PLC em função de vários parâmetros, nomeadamente a pressão no interior do corpo tubular. Cada cilindro liga-se diretamente à estrutura móvel da grelha. Os orifícios de entrada de ar situam-se nas partes fixas da grelha e esta circulação de ar além de garantir oxigénio à combustão e refrigeração à grelha permitem também evitar a formação de amontoados de combustível mantendo assim uma distribuição uniforme na grelha. As entradas de ar secundário localizadas imediatamente acima da camada de combustível criam turbulência misturando os gases voláteis com o ar garantindo a combustão completa. A grelha termina num descarregador de cinzas e detritos que vaza para um sem-fim em destaque no capítulo 2.2.4. Na Figura 7 e na Figura 8 apresentam-se os seus componentes.

As grandes vantagens deste tipo de grelha, segundo Juanico (1992) são:

- Possibilidade de queima de diferentes tipos de biomassa;
- Permite funcionamento contínuo da caldeira;
- Elevada precisão no controlo de ar primário, secundário, permitindo elevada eficiência do conjunto;
- Elevada eficiência de queima;
- Queima do pó em suspensão e mais materiais pesados sobre a grelha resultando na ausência de inqueimados;
- Limpeza automática de cinzas.

Tabela 3- Especificações técnicas da grelha móvel.

Tipo:	Grelha inclinada móvel
Área da grelha:	15,4 m <sup>2</sup>
Velocidade da grelha:	Ajustável em função da carga
Material das barras da grelha	1.4777-S
Conteúdo de cromo	Min. 27 %
Conteúdo de níquel	Min. 1,5-2 %
Número de zonas de controlo de ar primário	4
Portas de limpeza	4
Chapas de aço	6-12 mm

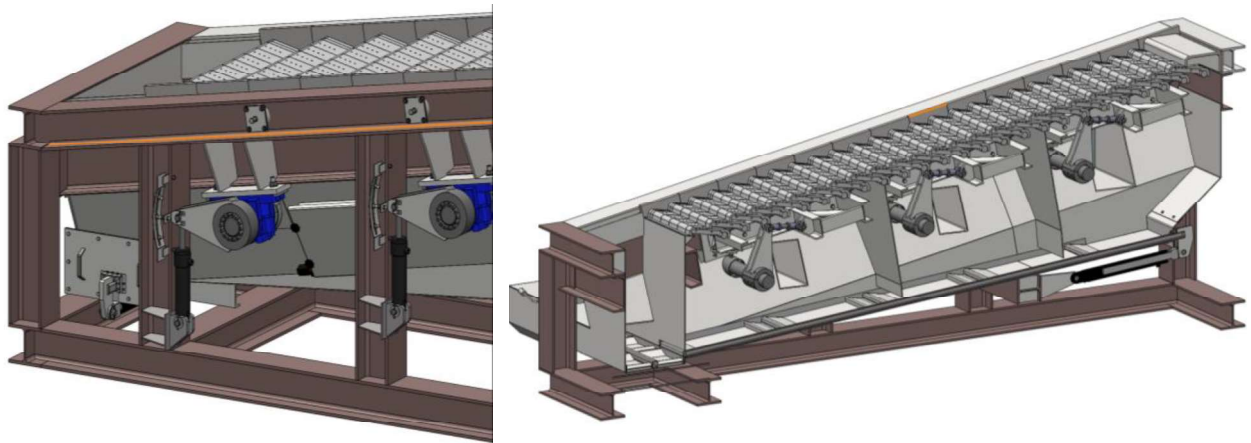


Figura 7 - Cilindros e interior de uma grelha móvel.

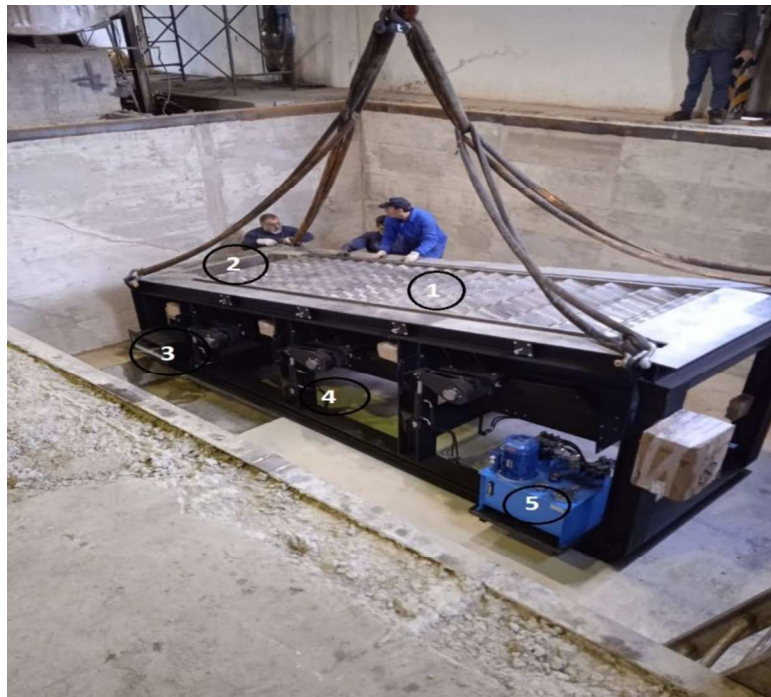


Figura 8 - Instalação de uma grelha móvel e identificação dos componentes.

Legenda:

- 1-Zona de combustão;
- 2- Descarregador de cinzas e detritos com piso móvel;
- 3- Abertura para recolha de cinzas e detritos provenientes do descarregador;
- 4- Cilindro hidráulico para movimentação da grelha;
- 5- Unidade hidráulica para alimentação dos cilindros.

#### **2.2.4 Remoção de cinzas**

A remoção de cinzas da fornalha é efetuada com recurso a pisos móveis com cilindros hidráulicos situados ao fundo da grelha móvel e por baixo da mesma, como ilustrado na Figura 8. A fração de cinzas de menor dimensão cai através da grelha sendo arrastadas pelo piso móvel até à extremidade da mesma e nessa extremidade existe um piso móvel transversal que recolhe as cinzas do anterior e a restante fração das cinzas provenientes da grelha. Daqui são empurradas para o exterior e elevadas por um sem-fim como o da Figura 9 tornando possível o seu carregamento para um contentor. Este sistema está dimensionado para uma capacidade de descarga de até 500 kg/h.



Figura 9 - Sem-fim de cinzas.

### **2.2.5 Alimentação de biomassa**

O combustível proveniente do silo de armazenamento é transportado para a tolha do alimentador (Figura 10), com um volume de aproximadamente 2 m<sup>3</sup>, através de tapetes rolantes.

A alimentação de combustível desde a tremonha de carga até à fornalha é assegurada através de um empurrador hidráulico, evitando entupimentos no canal de alimentação e fazendo uma distribuição regular de combustível ao longo da primeira secção da grelha. Este sistema, ilustrado na Figura 10, permitirá dosear a alimentação de biomassa consoante as necessidades da caldeira. A tolha terá uma sonda de nível rotativa de nível máximo que aciona o sistema de alimentação à tolha quando ativada.

Para proteção contra incêndios é instalada no alimentador uma válvula com sonda de temperatura que, em caso de retorno de chama, ativa uma electroválvula que assegurará a injeção de água no alimentador extinguindo a chama no seu interior.

Para evitar retorno de chama ao alimentador e a entrada indesejada de ar frio na fornalha, nos projetos mais recentes foi adicionada uma válvula com fecho automático no topo da tolha.

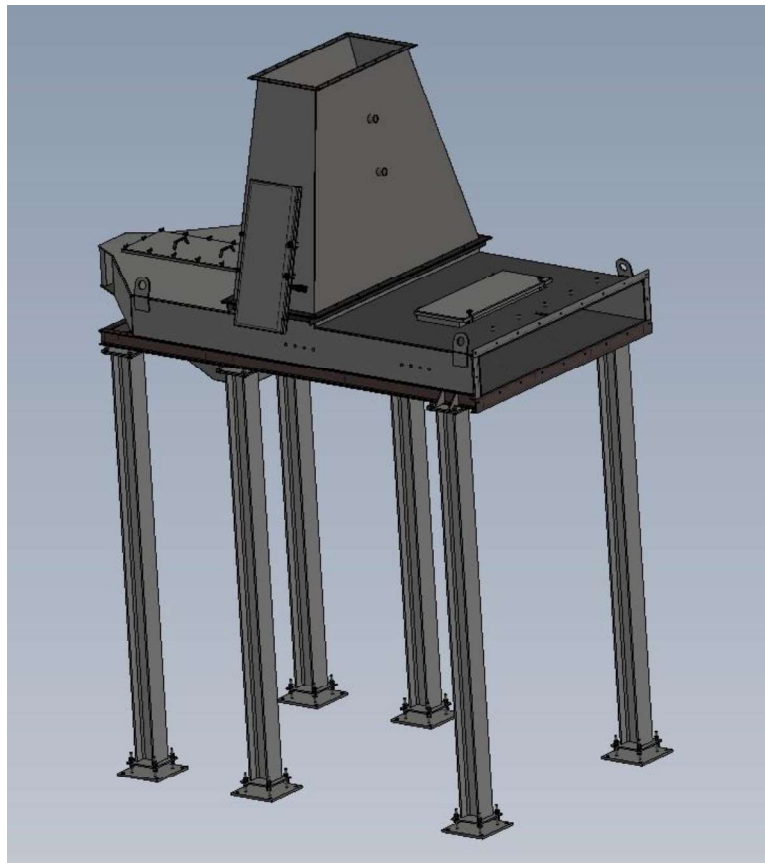


Figura 10 - Alimentador.

### 2.2.6 Instrumentação do sistema de queima

Para regulação do sistema de queima é necessário manter uma depressão no interior da fornalha que será garantida pelo ventilador de extração de fumos. Para controlo do ventilador são usados os seguintes instrumentos:

- Um transmissor de pressão diferencial;
- Sondas de temperatura do interior da fornalha.

Para uma regulação do oxigénio no interior da fornalha de forma a otimizar a combustão é usada uma sonda de O<sub>2</sub> que irá atuar sobre o ventilador de ar secundário. É colocada à saída dos gases de combustão e é do tipo modulante.

### 2.2.7 Alimentação de água à caldeira

O grupo de alimentação de água à caldeira é composto por duas eletrobombas de água, do tipo centrífugas, acopladas a um motor elétrico blindado munidas de variador de frequência, como se mostra na Figura 11. Segundo o Despacho 22332/2001 ponto 5.6, o circuito de alimentação de água à tubagem de alimentação deve dispor, pelo menos, de uma válvula de retenção e de uma válvula de corte e a bomba de alimentação deverá ter um débito, pelo menos igual a 1,25 vezes a capacidade de vaporização máxima. Em relação à pressão, é assumido como boa prática pela empresa um fator de 1,2 vezes a pressão de serviço. Para respeitar esta legislação é selecionada uma bomba com as características da Tabela 4.

Tabela 4 - Características das bombas a aplicar.

Vaporização máxima	Kg/h	16000
Caudal da bomba	l/h	20800
Altura manométrica da bomba	m.c.a	120
Temperatura máxima de serviço	°C	110
Marca da bomba	Grundfos	
Modelo da bomba	CR	
Nº de bombas	2	

As bombas são montadas sobre uma base, fazendo parte os seguintes elementos:

- Duas válvulas de fecho para a aspiração;
- Dois filtros de água para a aspiração;
- Duas válvulas de retenção na compressão;
- Duas válvulas de fecho na compressão;
- Manómetros.

A bomba em serviço é comandada por um variador de frequência que regula a sua velocidade em função do controlo de nível, ficando a segunda bomba em standby.



Figura 11 - Grupo de bombagem.

## **2.3 Sistema de controlo e segurança**

### **2.3.1 Quadro de comando**

A alimentação elétrica e o controlo da caldeira são efetuados por meio de um quadro dedicado como o da Figura 12.

O quadro sai devidamente ligado de fábrica, com comando automático e manual, ficando instalados todos os elementos de controlo e segurança, necessários ao seu bom funcionamento, tais como:

- Controlo do sistema de queima e ventilador de extração;
- Sistema de controlo e segurança de nível;
- Sistema de controlo e segurança de pressão;
- Sinal para controlo do sistema de modulação de alimentação de água existente.

Para controlo e segurança estão também instalados:

- Sonda de temperatura no interior da fornalha;

- Sonda de pressão diferencial no interior da fornalha;
- Sonda de temperatura de gases à saída da caldeira;
- Sonda de temperatura de água à entrada da caldeira.

O quadro de comando possui ainda dispositivos de ação mecânica, acessíveis a partir do exterior do mesmo, como:

- Botoneira de paragem de emergência;
- Botoneira para rearme do circuito de emergência;
- Botoneira para rearme do circuito de seguranças;
- Interruptor de corte geral.

No quadro vai também integrada a parte da força eletromotriz:

- Variador de frequência do ventilador de exaustão de gases;
- Alimentação dos equipamentos do sistema de queima;
- Alimentação dos componentes da caldeira.

O armário é construído em chapa de aço, cor RAL 7035 e com índice de proteção IP53.



Figura 12 - Quadro elétrico.

### **2.3.2 Sistema de regulação e controlo**

O sistema de controlo aplicado a esta caldeira é baseado na utilização de um autómato programável SIEMENS S7, equipado com cartas de entrada e de saída, com número adequado às variáveis a controlar. A interface com o operador faz-se através de uma consola de texto instalada no painel frontal do quadro elétrico, semelhante à da Figura 13.



Figura 13 - Consola HMI.

A instrumentação de campo compreende principalmente os sensores que enviam ao PLC sinais analógicos (4-20 mA), proporcionais às variáveis de processo medidas e aos elementos finais de controlo, tais como válvulas, servomotores, etc.

No sistema estão também instalados controladores P.I.D. implementados no P.L.C., que regulam o funcionamento da caldeira.

### 2.3.3 Sistema de controlo do nível de água

Visto que a caldeira tem uma gestão controlada através do autómato, o controlo de nível de água da caldeira é efetuado através do mesmo, encontrando-se de seguida os equipamentos a instalar:

- Sonda de nível capacitiva, que atua como controlador de nível e primeira segurança de nível;
- Controlador P.I.D. programado no P.L.C. com possibilidade de ação manual na saída de controlo;

### 2.3.4 Nível de água/segurança de nível

São instalados dois indicadores de nível de reflexão, instalados no corpo da caldeira, o que permite uma verificação visual do nível de água na caldeira.

### Primeiro sistema de segurança por falta de água

A primeira segurança por nível baixo de água é garantida pelo PLC de controlo da caldeira.

O valor medido pelo transmissor de nível é enviado ao PLC, através do sinal analógico 4-20mA, que por sua vez interpreta o sinal e quando este é menor que o valor definido no parâmetro de alarme de nível baixo a saída digital “SegPLC” é desligada provocando a paragem do sistema de queima. O alarme é indicado através de sinalização sonora e luminosa geral acompanhada de uma mensagem de erro na consola de interface do PLC.

Para reativação da saída digital é requerido o rearme manual local.

### Segundo sistema de segurança por falta de água

A segunda segurança por nível muito baixo de água é garantida por um sistema independente de segurança aumentada (SIL 3). Este sistema é composto por um eléctrodo condutivo mergulhável e por um relé amplificador que monitoriza permanentemente as condições de leitura do eléctrodo.

Quando o nível de água é inferior à extremidade do eléctrodo as saídas seguras do relé são desativadas provocando a paragem do sistema de queima. O alarme será indicado através de sinalização sonora e luminosa geral acompanhada de uma mensagem de erro na consola de interface com o operador.

### **2.3.5 Sistema de controlo da pressão da caldeira/queima**

O controlo da pressão atua de forma contínua na potência instantânea do sistema de queima em função do seu valor. O controlo é efetuado a partir do PLC que recebe o sinal vindo do transmissor de pressão instalado na caldeira e atua sobre o sistema de alimentação de biomassa e regulação de ar primário e secundário.

O valor de pressão comandará a alimentação de biomassa à caldeira. A regulação do ar primário será comandada em função do pedido de biomassa, pressão de ar na câmara de ar primária da grelha de combustão e teor de O<sub>2</sub> nos gases de combustão. O ar secundário será regulado exclusivamente em função do teor de O<sub>2</sub> nos gases de combustão.

### **2.3.6 Sistema de segurança de pressão da caldeira/queima**

#### Primeiro sistema de segurança por excesso de pressão

A primeira segurança por pressão alta é garantida pelo PLC em conjunto com o transmissor de pressão. Quando a pressão na caldeira atinge o valor pré-determinado, a saída digital “SegPLC” é desativada sendo o sistema de queima desligado, ou seja, a alimentação de biomassa e o ar de combustão.

O alarme será indicado através de sinalização sonora e luminosa geral acompanhada de uma mensagem de erro na consola de interface com o operador.

Para reativação da saída digital é requerido o rearme manual local.

#### Segundo sistema de segurança por excesso de pressão

A segunda segurança por pressão muito alta é garantida por um pressostato de segurança independente, instalado no corpo da caldeira, regulado para a pressão máxima admissível da caldeira. Ao ser atingido o valor ajustado a cadeia de seguranças é desarmada originando a paragem do sistema de queima.

O alarme será indicado através de sinalização sonora e luminosa geral acompanhada de uma mensagem de erro na consola de interface com o operador.

Para reativação da saída digital é requerido o rearme manual local.

#### Último sistema de segurança por excesso de pressão

A última segurança contra excessos de pressão é composta por duas válvulas de segurança de mola, calibradas para a pressão máxima admissível da caldeira. Será ativada em caso de falha dos dois sistemas anteriores.

## **2.4 Equipamentos complementares**

### **2.4.1 Economizador de calor**

Nas caldeiras a biomassa utiliza-se um economizador gastubular vertical, semelhante ao da Figura 14, concebido para ser considerado autolimpante, não sendo por isso necessária qualquer ação manual para efetuar a sua limpeza.

No fornecimento do economizador são incluídas todas as válvulas necessárias ao seu bom funcionamento.

O corpo do economizador é isolado com lã mineral em placas, protegidas exteriormente por chapa de alumínio de 1 mm fixas umas às outras por parafusos.



Figura 14 - Economizador de calor gastubular.

O economizador aplicado na obra tem as seguintes características, evidenciadas na Tabela 5:

Tabela 5 - Características do economizador.

Descrição	Unidade	Valor
Pressão de serviço	[bar]	10
Temperatura de entrada de gases	[°C]	250
Temperatura de saída de gases	[°C]	170
Temperatura de entrada de água	[°C]	103
Temperatura de saída de água	[°C]	139
Caudal de água de alimentação	[kg/h]	16000
Potência térmica recuperada	kW	651

### 2.4.2 Ventilador de extração de gases

A caldeira é equipada com um ventilador de tiragem do tipo centrífugo preparado para alta temperatura, cuja função é vencer a perda de carga do percurso dos gases ao longo da caldeira, sistema de tratamento de gases, condutas e chaminé, com as características segundo a Tabela 6:

Tabela 6 - Características do ventilador de extração de gases.

Descrição	Unidade	
Caudal de gases a tratar	[Nm <sup>3</sup> /h]	23600
Pressão manométrica	[mm.c.a.]	500
Temperatura máxima	[°C]	220°C
Nível de ruído	[Db] (A)	<85 a 1 m

### 2.4.3 Chaminé

Em instalações onde é requisitada pelo cliente também é fornecida uma chaminé. A mesma pode ser construída em aço inox ou aço carbono assim como poderá ser auto-suportável ou espiada. No entanto, todas as chaminés produzidas têm uma entrada de gases para ligar à caldeira, junto à base uma tubuladura de drenagem de águas pluviais e porta de homem de inspeção. As chaminés são também equipadas com tomas de amostragem para caracterização dos efluentes gasosos de acordo com a NP 2167 2007, plataforma, escadas de acesso e varandim e são termicamente isoladas com manta de lã de rocha de 50 mm de espessura até à toma de amostras e protegida mecanicamente com chapa de alumínio de 0,5 mm de espessura.

## 2.5 Tratamento de gases

Para cumprir com os valores das emissões gasosas mencionadas no Artigo nº18 do Decreto de lei nº39 de 2018, mostradas na Tabela 7, para novas MIC (instalações de combustão, com uma potência térmica nominal igual ou superior a 1 MW e inferior a 50 MW independentemente do combustível utilizado), a caldeira tem de ser equipada com diversos equipamentos auxiliares que ajudem a controlar as mesmas. Os valores na Tabela 7 são todos em mg/Nm<sup>3</sup>.

Tabela 7-Valores limite de emissões de centrais térmicas.

Poluente	Biomassa Sólida	Outros combustíveis Sólidos	Gasóleo	Combustíveis líquidos exceto o gasóleo	Gás Natural	Combustíveis gasosos exceto o gás natural
SO <sub>2</sub>	200(1)	400	----	350(2)	---	35(3)(4)
NO <sub>x</sub>	300(5)	300(5)	200	300(6)	100	200
Partículas	20(7)	20(7)	---	20(8)	---	--
COV	200	200	200	200	200	200
H <sub>2</sub> S	----	---	---	5	---	---
F-2	---	5(9)	---	---	---	---
Cl-	---	30(9)	---	---	---	---
Metais Pesados	---	Metais I(10)0,2 Metais II (11)1 Metais II (12)5		Metais I(10)0,2 Metais II (11)1 Metais II (12)5		

(1) Este valor não se aplica no caso das instalações que queimam exclusivamente biomassa sólida de madeira.

(2) Até 1 de janeiro de 2025, 1700 mg/Nm<sup>3</sup> no caso das instalações que façam parte de pequenas redes isoladas ou de microrredes isoladas.

(3) 400 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de gases de baixo poder calorífico provenientes de fornos de coque e 200 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de gases de baixo poder calorífico provenientes de altos -fornos da indústria siderúrgica.

(4) 100 mg/Nm<sup>3</sup> no caso do biogás.

(5) 500 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de instalações com uma potência térmica nominal total igual ou superior a 1 MW e inferior ou igual a 5 MW.

(6) Até 1 de janeiro de 2025, 450 mg/Nm<sup>3</sup> quando queimem fuelóleo pesado contendo entre 0,2 % e 0,3 % N e 360 mg/Nm<sup>3</sup> quando queimem fuelóleo pesado contendo menos de 0,2 % N

no caso das instalações que façam parte de pequenas redes isoladas ou de microrredes isoladas.

(7) 50 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de instalações com uma potência térmica nominal total igual ou superior a 1 MW e inferior ou igual a 5 MW; 30 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de instalações com uma potência térmica nominal total superior a 5 MW e inferior ou igual a 20 MW.

(8) 50 mg/Nm<sup>3</sup> no caso de instalações com uma potência térmica nominal total igual ou superior a 1 MW e inferior ou igual a 5 MW.

(9) VLE aplicável para o combustível carvão.

(10) Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Tálho (Tl).

(11) Arsénio (As), Níquel (Ni), Selénio (Se), Telúrio (Te).

(12) Platina (Pt), Vanádio (V), Chumbo (Pb), Crómio (Cr), Cobre (Cu), Antimónio (Sb), Estanho (Sn), Manganésio (Mn), Paládio (Pd), Zinco (Zn).

### **2.5.1 Multiciclone**

Um dos equipamentos auxiliares instalados é um multiciclone para captação de partículas sólidas, de alta eficiência, composto por uma parte cilíndrica reforçada em espessura devido à abrasão provocada pela força centrífuga das partículas sólidas, assim como na parte cónica.

O ciclone apoia sobre 4 pés em perfis de aço de construção, tal como na Figura 15, e ficará a trabalhar em sob pressão, o que lhe garante uma melhor eficiência. No fundo está instalada uma válvula rotativa para extração de cinzas, garantindo assim que não entra ar fresco na zona referida.

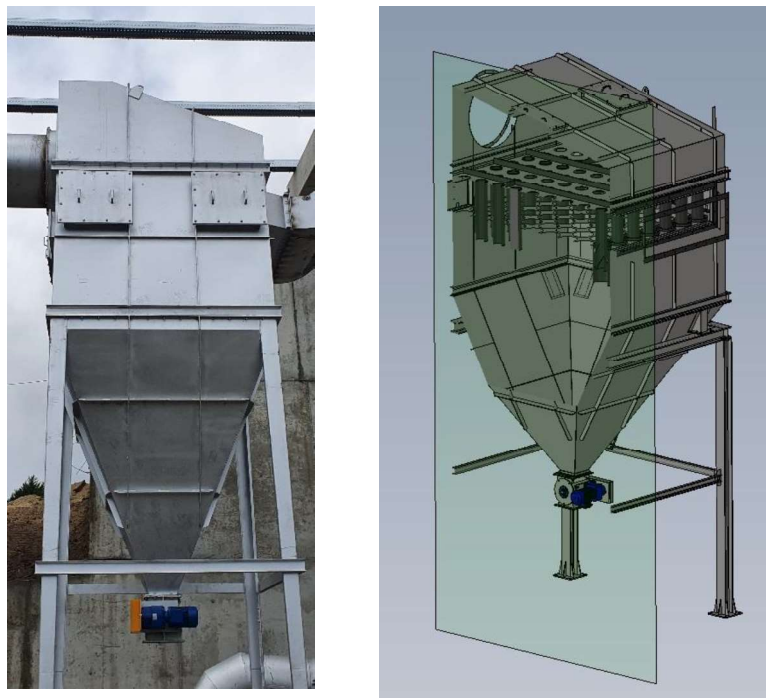


Figura 15 - Multiciclone.

### **2.5.2 Filtro de mangas**

Para controlo das emissões é normalmente também fornecido um filtro de mangas que tem por objetivo controlar as emissões gasosas de partículas contaminantes, com as características mencionadas na Tabela 8.

Este tipo de filtro é essencialmente constituído por duas partes distintas: Corpo paralelepípedo onde estão alojadas as mangas do filtro e tremonha de receção das impurezas, como está representado na Figura 16. Durante o seu funcionamento os gases são injetados numa câmara de descompressão onde é separado o material mais pesado, passando em seguida para o exterior através de elementos filtrantes, separando-se assim das partículas mais pequenas.

Estes filtros estão equipados com um sistema automático de limpeza das mangas, que consiste em sucessivas injeções de ar comprimido, em contra corrente, a uma pressão de 6 bar. Este sopro forte de ar comprimido provoca a queda do pó que se encontra no exterior das mangas para a tremonha coletora em baixo, deixando as mangas limpas. Este sistema de limpeza funciona simultaneamente com a filtração de ar e permite manter a porosidade do tecido filtrante constante, evitando assim a redução do rendimento.

O filtro está equipado com um conjunto de sprinklers, que permite a ligação à rede de combate a incêndio. No exterior do filtro é montada uma electroválvula que atuará em função de uma sonda de temperatura de controlo do filtro.

Os painéis de rotura, um por cada módulo, estão calculados segundo a norma VDI 3673.

O filtro está projetado com portas de acesso à parte superior do equipamento e ao sistema de limpeza das mangas. Tem também uma porta de visita para acesso ao interior do filtro. Para aceder ao corpo filtrante é necessário subir por uma escada a toda a altura do filtro e um varandim na parte superior.

A descarga das poeiras na tremonha é assegurada por um sem-fim. Na descarga do sem-fim será instalada uma válvula rotativa para fazer a selagem ao ar exterior.

São também instaladas 3 válvulas de bypass e respetivas condutas que controlam a passagem dos gases no interior do filtro abaixo de uma temperatura pré-determinada. Desta forma evita-se a condensação no interior do filtro e correspondente colmatação prematura das mangas. Estas válvulas são acionadas por atuadores electropneumáticos.

Tabela 8 - Características do filtro de mangas.

Caudal de funcionamento	23600 Nm <sup>3</sup> /h
Temperatura de funcionamento	160 °C
Temperatura máxima admissível	200 °C
Superfície de filtração	425 m <sup>2</sup>
Número de mangas	425
Tipo de mangas	Ø130 x2500mm
Fibra utilizada	Fibra de Vidro com TEFLON
Manequins	Inox
Perda de carga máxima	180 mm.c.ar
Limpeza	Ar Comprimido
Pressão de serviço no reservatório	6 bar
Consumo de ar comprimido estimado	36 a 72 Nm <sup>3</sup> /h



Figura 16 - Filtro de mangas.

## **2.6 Sistema de armazenamento de biomassa**

### **2.6.1 Silo horizontal para biomassa florestal**

O silo de armazenamento e distribuição de biomassa é composto por um sistema tipo TopLoader, como o da Figura 17, que arrasta a biomassa da zona de armazenamento e descarrega-a num transportador, que por sua vez a encaminhará para a tulha de alimentação à caldeira.

A construção é em aço estrutural, sendo as paredes do silo da zona de armazenamento contruídas em betão. Todos os movimentos do TopLoader são controlados por um PLC e todos os seus motores são equipados com variadores de frequência.

A quantidade de biomassa no transportador é controlada através dos sinais emitidos por sensores ultrassónicos aí instalados.

Para o consumo de biomassa de uma caldeira com uma produção de vapor de 16 ton/h os silos terão de ter as dimensões apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características dos TopLoader.

Número de silos	3
Largura unitária	4 m
Comprimento útil do silo	28 m
Comprimento da estrutura	33 m
Altura da estrutura	6 m
Altura do carro	4,8 m
Capacidade	0,5 m <sup>3</sup> /ciclo; 225,5 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de armazenamento	4 m
Capacidade de armazenamento total	1080 m <sup>3</sup>

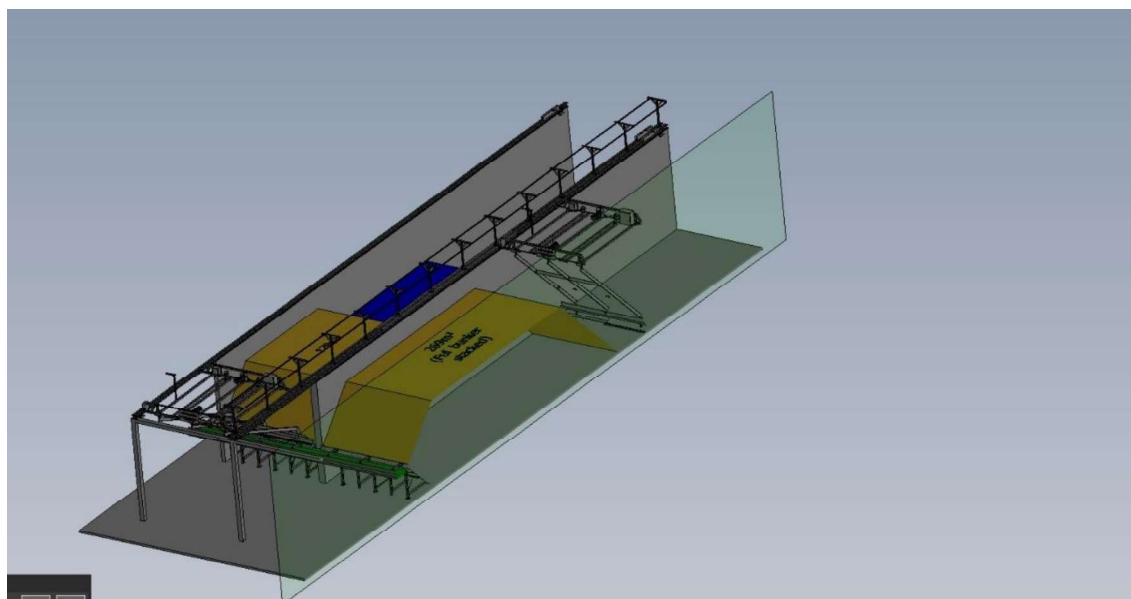


Figura 17 - Silos de armazenamento de biomassa tipo TopLoader.

### **3 ORÇAMENTAÇÃO**

O início da construção de uma caldeira a biomassa começa sempre com o pedido de proposta do cliente a uma caldeira com as especificações desejadas. É elaborado o orçamento, que será aprovado pelo diretor de engenharia e produção, por um elemento da administração sendo posteriormente enviado ao cliente para aprovação e dar origem a uma confirmação de encomenda.

Um orçamento de uma caldeira Ambitermo divide-se em várias partes, sendo estas: o custo dos materiais; o custo da mão de obra; o custo do transporte; o custo da montagem dos equipamentos e a aplicação de uma margem comercial.

Para apresentar uma proposta ao cliente, antes de iniciar todo o processo de engenharia e construção a Ambitermo recorre à sua vasta experiência de 31 anos e no mercado na construção deste tipo de equipamentos e vai selecionar materiais e tempo de mão de obra com base em obras e estudos elaborados anteriormente.

Na orçamentação são utilizadas unidades diferentes consoante o tipo de material. Na chapa, seja ela em aço de construção (S235JR EN1025-2), aço para caldeiraria (P355GH EN10028-2), ou chapa de alumínio o seu preço é dado ao kg. Nos tubos é considerada a quantidade ao metro, Na lã de rocha do isolamento é considerado ao m<sup>2</sup> e nas restantes componentes, tais como válvulas ou serviços é considerado à unidade.

#### **3.1 Classes do orçamento**

Para o orçamento de uma caldeira a biomassa com timbre 12 bar e uma produção de vapor de 16 ton/h com os componentes de acordo com o capítulo 2 são consideradas as seguintes classes:

- Corpo caldeira standard 375 m<sup>2</sup>, 12 bar, 17.000 kg/h- É utilizado uma base de um corpo tubular de uma obra anterior para efeitos de orçamento pois a área de transferência de calor e a espessura do material depois do dimensionamento térmico e mecânico não irá diferir muito do orçamentado;
- Fornalha com grelha móvel: Com base também em obras anteriores é considerada uma grelha móvel de 15,4 m<sup>2</sup>, suficiente para uma caldeira até 10 MW, potência considerada para o projeto vinda de uma obra anterior;
- Economizador vertical gastubular liso de 140 m<sup>2</sup>- É considerado um economizador gastubular com capacidade de subir a água proveniente de um degasificador de 103 °C para 139 °C e reduz a temperatura dos gases de 250 °C para 170 °C, o que faz uma potência térmica de 651 kW, pelo que é necessário que tenha 140 m<sup>2</sup> de área de tubo para transferência de calor;

- Chaminé vertical 1100x25m- Foi considerada uma chaminé de  $\varnothing 1100$  mm x 25 m tendo por base obras com localizações semelhantes e caudal de gases também semelhante;
- Conduitas de diâmetro 960x20m: Interligações previstas entres os vários equipamentos da central;
- Ventilador: É considerado nesta classe apenas o ventilador de extração de gases com caudal de  $19.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ;
- 1 Multiciclone: Utilizado para reduzir as emissões de partículas;
- Interligações e montagem dentro da central;
- Silos TopLoader: Utilizados para armazenamento de biomassa e têm capacidade de  $1080 \text{ m}^3$ , suficiente para manter a caldeira em funcionamento durante no máximo 3 dias, variando este tempo consoante a carga e o PCI da biomassa.

### **3.1.1 Corpo caldeira standard**

Na classe do corpo caldeira standard  $375 \text{ m}^2$ , 12bar,  $17.000 \text{ kg/h}$  são consideradas as seguintes subclasses:

- Corpo std/min  $375 \text{ m}^2$ , 12bar. Nesta subclasse é considerado tudo o que seja chapas e tampos pertencentes ao corpo de pressão gastubular, com destaque para as chapas da virola e tampos planos;
- Flanges: São consideradas todas as flanges soldadas ao corpo de pressão, sendo elas a saída de vapor, entrada de água, válvula de segurança, nível mínimo/controlo, visores de nível, purga contínua e purga de lodos;
- Tubos: São considerados os tubos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> passagens. As suas quantidades serão consideradas recorrendo a projetos já anteriormente efetuados pela Ambitermo e a estimativa de custo será apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 - Estimativa de quantidades do tubular.

<b>Material</b>	<b>Qt.</b>
<b>Tubos aço s/c P235GH 3<sup>a</sup> passagem</b>	1274 m
<b>Tubos aço s/c P235GH 2<sup>a</sup> passagem</b>	1072 m
<b>Tubos aço s/c P235GH 1<sup>a</sup> passagem</b>	280 m

- Tubuladuras: Neste ponto são consideradas todas as tubuladuras cuja picagem é feita diretamente nos tampos ou na virola do corpo de pressão,

sendo estas a saída de vapor, entrada de água, válvula de segurança, nível mínimo/controlo, visores de nível, purga contínua e purga de lodos;

- Projeto e ensaios: É considerado o projeto de engenharia, a inspeção e ensaios por um organismo externo e o transporte de material importado.
- Isolamento: Para isolamento é apenas usada lã de rocha com densidade de 100 kg/m<sup>3</sup> e chapa de alumínio de 1 mm;
- Instrumentação: Seguidamente apresenta-se a Tabela 11 que é um resumo de quantidades para a instrumentação típica de uma caldeira. A justificação da escolha da mesma irá ser apresentada no capítulo 5.

Tabela 11 - Resumo de quantidades da instrumentação

<b>Material</b>	<b>Qt.</b>
<b>Arrefecedor amostras</b>	1 un.
<b>Conjunto purga fundo automático DN40 MPA 46</b>	1 un.
<b>Filtro Y DN80 PN16</b>	2 un.
<b>Indicador de nível DN25 L= 370mm</b>	2 un.
<b>Manómetro Ø160mm 0 a 16 bar C/ flange padrão</b>	1 un.
<b>Quadro elétrico com PLC</b>	1 un.
<b>Queimador biomassa</b>	1 un.
<b>Termómetro gases</b>	1 un.
<b>Transmissor pressão</b>	1 un.
<b>Válvula 3 vias p/ manómetro</b>	1 un.
<b>Válvula entrada água bombas DN65 PN16</b>	2 un.
<b>Válvula entrada água caldeira DN65 PN16</b>	2 un.
<b>Válvula retenção DN65 PN40</b>	2 un.
<b>Válvula saída vapor DN300 PN16</b>	1 un.
<b>Válvula segurança mola DN80 PN16</b>	1 un.
<b>Válvulas DN25 PN16</b>	6 un.
<b>Eléctrodo Gestra NRG 16-50 nível mínimo L= 1000mm</b>	1 un.
<b>Interruptor Gestra NRS-50</b>	1 un.
<b>Eléctrodo de nível NRGT 26-2 L= 1000mm Sonda de nível</b>	1 un.
<b>Garrafa do transmissor de nível</b>	1 un.
<b>Pressostato 0 a 40 bar</b>	1 un.

Eletrobombas de água, caudal: 20,8 m <sup>3</sup> /h, 140 m.c.a., CR32-10 A	2 un.
Conjunto de purga de superfície DN20 e elétrodo LRGT 16-3	1 vg.
Contador água DN40 Endress+Hauser	1 un.
Contador de vapor Endress+Hauser	1 un.
Sondas PT 100	2 un.
Válvula retenção disco DN300 PN40	1 un.

### 3.1.2 Fornalha com grelha móvel

Na classe “Fornalha com grelha móvel” são considerados todos os elementos do sistema de queima (Tabela 12), sendo a grelha móvel e o alimentador fornecidos com projeto externo, mas montado na Ambitermo.

Tabela 12 - Tabela de quantidades do sistema de queima.

Material	Qt.
Grelha móvel inclui material e mão de obra Ambitermo	1 vg
Tubo alhetado para fornalha	1200 m
Coletores, diversos	1 vg
Alimentador tipo empurrador	1 vg
Refratário/grelha/fornalha material e mão de obra	1 vg
Sem-fim de cinzas	1 vg

### 3.1.3 Economizador vertical liso

O orçamento do economizador vertical liso de 140 m<sup>2</sup> tem o seu valor definido de forma similar ao corpo da caldeira visto a sua construção ser também muito similar e baseada na mesma norma (EN12953).

No total, para um projeto deste género, o orçamento total ficará em torno de 1.700.000€.

## 4 CÁLCULOS TÉRMICOS

De forma a justificar a escolha da instrumentação e garantir a produção de vapor pretendida é necessário fazer o cálculo térmico da caldeira.

O cálculo aqui apresentado será meramente justificativo de algumas escolhas a nível de instrumentação pois durante o estágio o aluno não teve acesso ao cálculo térmico pormenorizado (por exemplo o cálculo dos coeficientes de transmissão de calor ou o número de tubos e diâmetro dos mesmos para o corpo tubular).

Tabela 13 - Características de uma amostra de biomassa.

Parâmetro	Resultado	Incerteza	Unidade	Método	Observações
Teor de humidade total tq	40,0	$\pm 3,1$	%(mm/mm)	ISO18134-1:2015	Gravimetria
Teor de cinzas bs	6,9	$\pm 1$	%(mm/mm)	ISO18122:2015	Gravimetria
Teor de carbono total bs	47,3	$\pm 1$	%(mm/mm)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de hidrogénio total bs	6,0	$\pm 0,5$	%(mm/mm)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de azoto total bs	0,9	$\pm 0,1$	%(mm/mm)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de oxigénio total bs	38,8	$\pm 2,6$	%(mm/mm)	ISO16993:2016	Cálculo
Teor de enxofre total bs	0,04	$\pm 0,01$	%(mm/mm)	ISO16994:2016 Method A	Cromat. Iónica
Teor de cloro total bs	0,07	$\pm 0,02$	%(mm/mm)	ISO16994:2016 Method A	Cromat. Iónica
Poder calorífico superior, volume constante bs	18,76	$\pm 0,25$	MJ/kg	ISO18125:2017	Calorimetria
Poder calorífico inferior, pressão constante bs	17,47	$\pm 0,28$	MJ/kg	ISO18125:2017	Cálculo
Poder calorífico inferior, pressão constante tq	9,5	$\pm 0,65$	MJ/kg	ISO18125:2017	Cálculo

Nota:

- Bs: base seca
- Tq: tal e qual o fornecimento

O combustível considerado será biomassa proveniente de resíduos florestais, que após análise no laboratório do Centro da biomassa para a energia, certificado pelo IPAC segundo a ISO/IEC 17025, apresenta as características apresentadas na Tabela 13.

Sendo esta biomassa uma biomassa de excelente qualidade devido à sua baixa humidade, baixo teor de cinzas e um PCI de 9500 kJ/kg, estes valores vão ter de ser ajustados no cálculo para poder garantir a produção de vapor pretendida mesmo com uma biomassa de pior qualidade que a apresentada. Para garantir essa produção é então considerada uma biomassa com um PCI de 9000kJ/kg (tq).

#### 4.1 Cálculo do volume de gases por kg de combustível

Segundo Juanico (1992), não conhecendo a composição elementar do combustível é necessário recorrer a fórmulas empíricas ou fórmulas baseadas em estudos estatísticos de um número elevado de análises de vários combustíveis. Todas as fórmulas apresentadas neste capítulo terão por base os estudos de Rosin e Fehling mencionados por Juanico (1992) e serão suficientes para fazer o cálculo da maioria dos componentes de uma caldeira. O PCI será considerado em kcal/kg e os volumes de gases em Nm<sup>3</sup>/kg.

Dados:

- $PCI = 9000 \text{ kJ/kg} = 2149,6 \text{ kcal/kg}$
- $\text{Excesso de ar} = 1,6$
- $\text{Produção de vapor } P.V. = 16000 \text{ kg/h}$
- $\text{Pressão de serviço } P.S. = 10 \text{ bar}(g)$
- $\text{Temperatura de entrada de água} = 105 \text{ }^{\circ}\text{c}$
- $\text{Entalpia da água } h_{\text{agua}} = 440,21 \text{ kJ/kg} = 105,16 \text{ kcal/kg}$
- $\text{Entalpia do vapor saturado } h_{\text{vapor}} = 2780,67 \text{ kJ/kg} = 664,28 \text{ kcal/kg}$

Cálculo do volume de ar e volume de gases por kg de combustível:

$$\begin{aligned} \text{Var teórico} &= \frac{1.01 * PCI}{1000} + 0,5 & (4.1) \\ &= 2,67 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Vgases teórico} &= 0,89 \times \frac{PCI}{1000} + 1,65 & (4.2) \\ &= 3,56 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & V_{gases\ real} \\
 = & V_{gases\ teórico} + (Excesso\ de\ ar - 1) \times Var\ teórico \quad (4.3) \\
 & = 5,17Nm^3/kg
 \end{aligned}$$

## 4.2 Cálculo do rendimento

Ainda segundo Juanico (1992), o cálculo do rendimento do G.V. pode ser dado pelas fórmulas empíricas aqui mostradas, onde neste caso o PCI é considerado em kJ/kg.

Dados:

- Temperatura da saída de gases na chaminé= 120 °C
- Perdas pela fornalha= 2 %
- Perdas não queimados=0,5 %
- Perdas por radiação=1 %
- Cp água saturada=4,45 Kj/kg.°C
- Cp água de alimentação=4,2 kj/kg.°C
- Cp gases=1,293 kj/kg.°C

Cálculo de Perdas:

$$\begin{aligned}
 & \text{Perda purgas} \\
 = & 0,01 \times \frac{T_{saturação} \times 4,45 - T_{água\ alimentação} \times 4,2}{h_{vapor} - T_{água\ de\ alimentação} \times 4,2} \quad (4.4) \\
 & = 0,16\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Perda chaminé} \\
 = & V_{gases} \times 1,293 \times 1,1/PCI \times (T_{gases} - 20) \times 100 \quad (4.5) \\
 & = 8,16\%
 \end{aligned}$$

Cálculo do rendimento

$$\begin{aligned}
 \eta_{gerador} = & \frac{100 - P_{cham.} - P_{forn.} - P_{nqueim.} - P_{rad.} - P_{pur.}}{100} \quad (4.6) \\
 & = 88\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Var &= Var \text{ teórico} \times Excesso \text{ de ar} \\ &= 4,27 \text{ Nm}^3/\text{kg} \end{aligned} \quad (4.7)$$

### 4.3 Cálculo da potência, caudal de gases e consumo de combustível

$$\begin{aligned} C. \text{ Combustível} &= \frac{\text{Produção de vapor} \times (h_{\text{vapor}} - h_{\text{água}})}{PCI \times \eta_{\text{gerador}}} \\ &= 4728 \text{ kg/h} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{gases real}} &= C. \text{ Combustível} \times V_{\text{gases}} \\ &= 24443 \text{ Nm}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} Var \text{ real} &= C. \text{ combustível} \times Var \\ &= 20188 \text{ Nm}^3/\text{h} \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Potência nominal} &= \text{Consumo de Combustível} \times PCI \\ &= 11820 \text{ kW} \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \text{Potência Útil} &= P \text{ nominal} \times \eta_{\text{gerador}} \\ &= 10400 \text{ kW} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Estamos, portanto, perante um gerador de vapor com uma potência útil de 10400 kW e com um consumo aproximado de 4728,24kg/h de biomassa, considerando as condições de cálculo. Este valor de consumo pode variar consoante o teor de humidade da biomassa e a quantidade de cinzas na mesma. Caso a biomassa contenha mais humidade e cinzas o seu PCI será mais baixo e as cinzas poderão causar problemas a longo prazo nos equipamentos móveis.

## 5 INSTRUMENTAÇÃO

A área do projeto e concepção onde o aluno esteve mais diretamente envolvido foi na escolha da instrumentação e equipamentos para o gerador de vapor.

Neste capítulo irá ser abordada toda a instrumentação e valvularia selecionada assim como a legislação aplicável que influenciou a sua escolha.

### 5.1 Equipamento da caldeira

#### 5.1.1 Manómetro

Segundo o Despacho 22332/2001 ITC ponto 5.2 e a norma EN12935-6 ponto 5.2 o gerador de vapor terá de ser equipado com um manómetro com no mínimo 100 mm de diâmetro, graduado para aproximadamente o dobro da pressão de serviço e nunca menos de uma vez e meia essa pressão, sendo a PS (pressão de cálculo) marcada a traço encarnado e podendo a pressão efetiva ser marcada com um traço de cor azul. Perto de cada manómetro deve haver uma válvula de três vias com tubuladura circular de 40 mm de diâmetro para colocação de manómetro de prova.

O manómetro deverá estar também conectado a um sifão com capacidade suficiente para manter o tubo do manómetro cheio de água.

Além destas características, segundo o decreto-lei nº131/2016 artigo 7º ponto 4, os indicadores de pressão devem estar verificados, através de controlo metrológico legal de acordo com a legislação aplicável, ou, não estando abrangidos por aquela legislação, mediante calibração realizada por laboratório acreditado para o efeito.

Respeitando a norma e a ITC, e sendo a pressão de cálculo 12 bar, é selecionado um manómetro vertical com diâmetro 160 mm, gama 0 a 25 bar, com primeira verificação metrológica legal, com rosca G $\frac{1}{2}$ ", semelhante ao da Figura 18. Além disto é colocado também uma válvula de 3 vias porta manómetro,  $\phi\frac{1}{2}$ ", com flange padrão e o sifão construído em fábrica ligado a um coletor de pressão para todos os equipamentos de medição de pressão.



Figura 18 - Manómetro.

### **5.1.2 Sonda de pressão**

A sonda de pressão atua como controlador de pressão que depois de enviado o sinal ao PLC atua sobre o grupo hidráulico do alimentador de biomassa. Este sistema é modulante, sendo que quando a pressão baixa devido a uma puxada de vapor, o alimentador irá funcionar com ciclos de intervalos de tempo mais curtos e quando a pressão de vapor atinge o valor da pressão de serviço irá funcionar com os ciclos mais espaçados no tempo entre si.

Foi escolhida uma sonda de pressão Cerabar PMP11-AA1U1RBWBJ, gama 0 - 25 bar, com sinal 4-20 mA, rosca G $\frac{1}{2}$ " da marca Endress + Hauser (Figura 19). Esta sonda enquadra-se na gama de pressão de serviço da caldeira e emite um sinal de 4-20mA, a gama de sinal lida pelo PLC.



Figura 19- Sonda de pressão.

### **5.1.3 Pressostato**

Segundo a ITC ponto 5.11.1 e EN12935-6 ponto 5.6.2, o gerador de vapor automático de nível definido deve possuir, no mínimo, um limitador de nível de água e um de pressão de modo que a pressão máxima admissível não seja ultrapassada. Para fazer este efeito de limitação de pressão é utilizado um pressostato de segurança Danfoss BCP5 (2-16bar) com rosca  $\frac{1}{2}$ "BSP, mostrado na Figura 20.



Figura 20- Pressostato.

Os três elementos de medição de pressão são montados num único coletor munido de sifão como se mostra na Figura 21.



Figura 21 - Montagem do equipamento de medição e controlo de pressão

#### **5.1.4 Eléctrodo de transmissão de nível**

Segundo a norma EN 12953-6 ponto 5.5 e com a ITC ponto 5.2, o nível de água deve ser controlado automaticamente sendo que um dispositivo automático deve ser instalado para prevenir que o nível máximo seja excedido, não tendo este dispositivo de ser adicional. Quando o fornecimento de água é interrompido a fonte de calor deve ser interrompida simultaneamente se houver risco de sobreaquecimento dos economizadores devido a esta interrupção de abastecimento de água.

Este eléctrodo comanda directamente o variador de frequência do grupo de bombagem em conformidade com o nível da água dentro do G.V.

Para fazer o respetivo controlo de nível é seleccionado um eléctrodo de transmissão de nível Gestra NRGT 26-2, L=1000 mm, rosca G<sup>3</sup>/<sub>4</sub>" , tal como o da Figura 22. O comprimento do eléctrodo de transmissão de nível é seleccionado segundo a cota entre o topo da flange e o HHS, o ponto mais alto aquecido dos tubos de gases.



Figura 22- Eléctrodo de transmissão de nível.

### **5.1.5 Eléctrodo de segurança de nível muito baixo**

De acordo com a EN12953-6 ponto 5.6.1 e com a ITC ponto 5.11.1 o gerador de vapor deve estar equipado com dois elementos de segurança que cortem e bloqueiem o abastecimento de combustível à combustão quando o nível de água cai abaixo da posição “LSLL”, nível muito baixo.

Como alternativa aos dois elementos de segurança, as suas funções podem ser combinadas num complexo sistema eletrónico e/ou mecânico anti falha, auto monitorizado e redundante.

Na norma 12953-9 no ponto 5.2.2.1 e 5.2.2.2 também refere que no caso de o eléctrodo estar colocado dentro do corpo de pressão o mesmo deverá estar dentro de um tubo com furos no ponto mais baixo do mesmo com, no mínimo, 20 mm de diâmetro e não menos de um terço do diâmetro interno do tubo salvo aprovação especial. Deverá também estar instalado de modo que as medições não sejam perturbadas por espuma ou turbulência da água da caldeira, acumulação de lodos, influências mecânicas durante a operação (ex. vibração) e não deve também entrar em contacto com o eléctrodo de controlo de nível de modo a não provocar curto-circuito, obrigando a uma distância mínima entre ambos de 14 mm (Figura 24). A sua instalação deve ser feita na vertical ou então num ângulo de 45° em relação à vertical.

As caldeiras a biomassa Ambitermo estão equipadas segundo a alternativa mencionada no ponto 5.6.1 da EN12953-6, servindo o eléctrodo Gestra NRGT 16-2 como primeira segurança de nível. Se a água atingir o nível mínimo na sonda soa um alarme sonoro e a unidade hidráulica do alimentador e o ventilador de insuflação param. Se este sistema falhar e a água atingir o LSLL soará novamente um alarme sonoro e o eléctrodo de segurança de nível muito baixo Gestra NRG 16-50 (Figura 23) em conjunto com o interruptor de segurança de nível NRS 1-50 irão parar o alimentador e o ventilador de insuflação.



Figura 23-Eléctrodo de segurança de nível.



Figura 24--Montagem de ambos os elétrodos no corpo de pressão

### **5.1.6 Indicadores de nível**

Pela norma EN12953-6 e pela ITC o gerador de vapor de nível definido ou de água sobreaquecida com câmara de expansão interna deve ser equipado com dois indicadores de nível independentes, podendo um deles ser substituído por um indicador indireto, entenda-se no caso das caldeiras em estudo, o PLC. A cada indicador corresponde um conjunto de três válvulas e os tubos de comunicação do mesmo com o gerador de vapor que devem ter um diâmetro interior mínimo de 20 mm. Os níveis máximos e mínimos devem estar claramente marcados sendo que o nível mínimo deve estar 50mm acima do extremo inferior do indicador e a 60 mm das superfícies banhadas por gases (HHS) capazes de produzir aquecimento.

Para o projeto em estudo serão usados 2 indicadores de nível Diesse Tipo 7, iguais aos da Figura 25, com válvulas de seccionamento DN25 PN40 e uma distância entre centros de 410 mm.



Figura 25 - Indicadores de nível.

### **5.1.7 Válvulas de purga e drenagem**

Os geradores de vapor devem dispor de, pelo menos, uma válvula de drenagem que permita despejá-lo de modo seguro e completo e uma válvula de purga de ar (válvula de respiro) que poderá ter outra função, segundo a ITC. O gerador de vapor deve ter também, pelo menos, uma válvula de purga de fundo para retirar as partículas sólidas dissolvidas, podendo também servir de válvula de drenagem.

Além da válvula de purga de fundo e da purga de ar, é recomendado a existência de uma válvula de purga contínua nos geradores de vapor de nível definido.

A função da válvula de purga contínua (Figura 27) é manter o teor de sólidos dissolvidos na caldeira baixo pois se estes não forem controlados acumulam-se ao longo do sistema de vapor.

Além destes efeitos também, segundo a Gestra, incluem-se:

- Eficácia reduzida na transmissão de calor;
- Aumento dos períodos de manutenção e custos devido à necessidade de manutenção de equipamentos colmatados;
- A eficiência da produção diminui conforme a transferência de calor ao processo crítico se torna menos eficaz.

Para a função de válvula de purga de fundo é selecionada uma válvula de purga de lodos automática Gestra MPA 46 DN40 PN40, semelhante à da Figura 26. A sua abertura é controlada através do PLC que conforme o tempo definido abre e fecha a válvula de purga com recurso a ar comprimido. Em situações onde o orçamento para instrumentação é mais reduzido é utilizada a válvula de purga de lodos manual PA 46 DN40 PN40, onde o corpo é o mesmo da válvula automática mas sem a adição do atuador pneumático sendo esta acionada pelo fogueiro com recurso a uma alavanca.

A montante da válvula de purga de fundo está sempre montada uma válvula de macho esférico PEKOS com vedante SSS que tem como função fazer o isolamento da válvula de purga de lodos ao gerador de vapor por forma a que seja possível fazer a sua substituição/manutenção sem ter de esvaziar ou parar o mesmo. Terá de ser uma válvula de macho esférico para criar o mínimo possível de perda de carga de modo que se faça uma purga rápida e que provoque turbulência dentro do gerador de vapor, sendo que além disto o vedante SSS consegue suportar a temperatura e pressão do interior da caldeira sem fugas e sem se danificar.

No conjunto de purga contínua temos uma sonda de condutividade Gestra LRGT 16-3 com 800 mm (Figura 27). Esta sonda tem como função fazer uma leitura contínua da condutividade da água, em  $\mu\text{S}$ , e segundo o valor lido irá controlar a válvula de purga contínua automática Gestra BAE 46-3 DN 20 PN40 que fará a descarga dos sólidos dissolvidos na superfície da água. A montante da válvula BAE 46-3 estará montada uma válvula de globo DN20 PN16 para isolar a mesma em caso de necessitar de manutenção ou substituição sem comprometer o funcionamento do gerador de vapor.

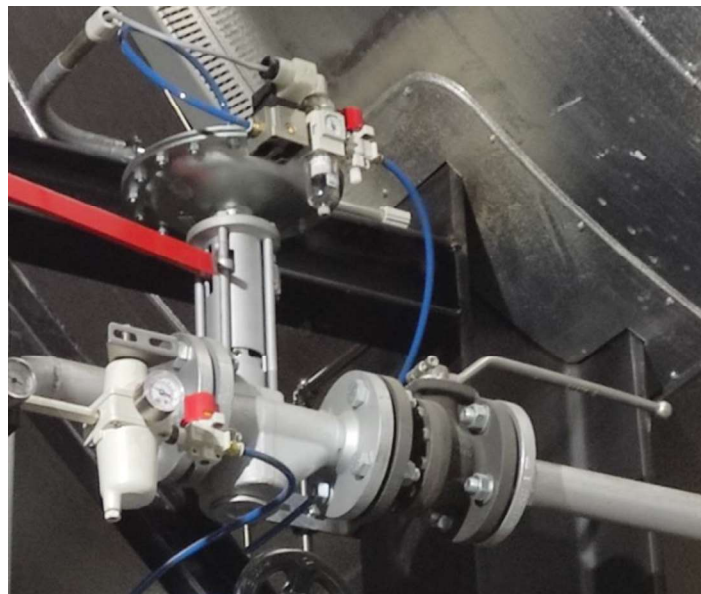


Figura 26 - Montagem da Válvula de purga de fundo + Válvula MEF PEKOS.



Figura 27 - Sonda LRGT 16-3 + Válvula BAE 46-3.

### 5.1.8 Válvula de corte de vapor

Pela ITC ponto 5.7 e segundo a norma 12953-6 ponto 5.3 todas as saídas e entradas no gerador de vapor, exceto nos casos devidamente justificados, devem possuir válvula de corte devendo o troço de tubo ser o menor possível.

No caso da válvula de corte de vapor a mesma deve ser montada diretamente no gerador de vapor e quando existe mais que uma caldeira conectada a um coletor, a mesma deve estar equipada também com uma válvula anti-retorno.

Para escolher as válvulas para a saída de vapor é necessário primeiro fazer o dimensionamento da saída de vapor de forma que a velocidade do escoamento do fluido no interior da tubagem esteja entre os 20 e os 25 m/s.

Para tal recorre-se à equação:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5.1)$$

Onde:

- $Q [m^3/s]$  – Caudal volúmico de vapor
- $A[m^2]$  - Área da secção interna do tubo

Considerando o gerador de vapor em análise temos:

- $Q = 16000 \text{ [kg/h]}$
- $P = 10 \text{ barg} \Rightarrow v = 0.177 \text{ m}^3/\text{kg}$
- Tubo P235GH  $\varnothing 219,1 \times 5,9$ , logo  $d_{in} = 207,3 \text{ mm}$

Aplicando a equação 5.1 temos  $V=23,4 \text{ m/s}$ . Estando este valor compreendido entre os 20 e os 25m/s assume-me, portanto, que a saída de vapor será DN200.

Para cumprir com a ITC e com a norma é então selecionada uma válvula de globo DN200 PN16, evidente na Figura 28, e uma válvula de retenção de disco DN200 PN16.

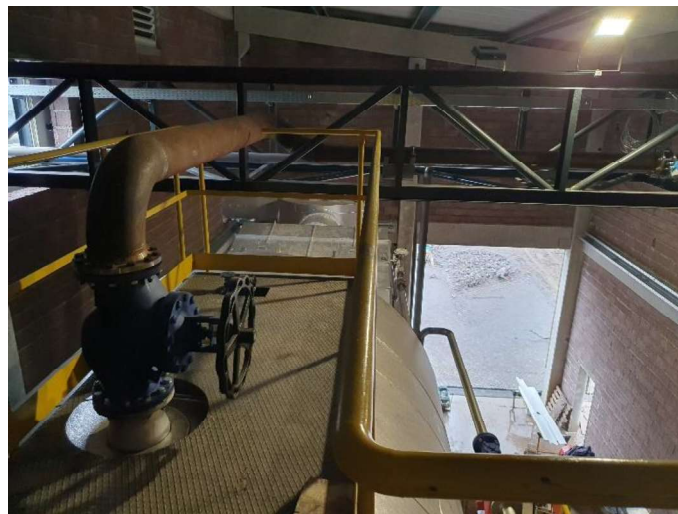


Figura 28 - Válvula de Globo DN200 PN16 na saída de vapor da caldeira.

### **5.1.9 Válvula de corte da alimentação de água**

Ainda segundo as normas do ponto anterior, é necessário ter uma válvula de corte na alimentação de água. Esta é mais uma válvula que necessita de um dimensionamento cuidado.

A velocidade máxima recomendada por vários fabricantes de equipamento e valvularia são 2,5 m/s. Mais uma vez é aplicada a fórmula da equação 1 onde consideramos o caudal máximo 20800 kg/h pois segundo a ITC o mesmo tem de ser pelo menos 1,25 vezes superior ao caudal de vapor produzido.

O dimensionamento desta válvula é mais uma vez efetuado com recurso à equação 2 onde, por experiência da empresa vai ser testado um tubo P235GH  $\varnothing 76,1 \times 2,9 \text{ mm}$ .

Consideramos então:

- $v_{H_2O\ 80^\circ C} = 972,25\ m^3/kg$
- $Q = 20800\ [kg/h]$
- $din = 70,3\ mm$

Logo,  $V=1,96\ m/s$ , então podemos assumir que a entrada de água será DN65. Para válvula de corte é então selecionada uma válvula de globo DN65 PN16 (Figura 29).



Figura 29 - Válvula de Globo DN65 PN16 na alimentação de água ao G.V.

### **5.1.10 Válvula de segurança**

Pela norma 12953-8 e segundo a ITC, os geradores de vapor ou água sobreaquecida, devem ter, pelo menos, duas válvulas de segurança. A capacidade de descarga do conjunto das válvulas, menos uma, se houver menos de quatro, ou menos duas, se houver quatro ou mais, não deve ser inferior à produção máxima de vapor ou potência térmica máxima do equipamento. Se a superfície de aquecimento for igual ou inferior a  $50\ m^2$  ou se a capacidade de descarga for devidamente comprovada, poderá o equipamento ter uma única válvula de segurança.

As válvulas de segurança devem garantir que em nenhum caso a sobrepressão seja superior a 10 % da pressão de cálculo, sendo recomendável que a pressão de serviço não ultrapasse 95 % da pressão de cálculo, com a diferença mínima de 0,1 bar. As válvulas de segurança devem ser ajustadas para a pressão de cálculo e ensaiadas de cinco em cinco anos e sempre que apresentem indícios de mau funcionamento.

Para o cálculo da secção de passagem da válvula de segurança recorre-se à norma EN4126-7 e às antigas normas TRD 721 que nos dá a fórmula:

$$A_0 = \frac{\dot{Q}_m \times K_s}{K_{dr} \times P_0} [mm^2] \text{ (ISO 4126 - 7 Eq.8)} \quad (5.2)$$

Onde:

- $P_0$ - Pressão absoluta máxima dada por:  
 $P_0 = 1,1 \times P_c + 1$  [bar] (ISO 4126-7)
- $\dot{Q}_m$ - Produção máxima de vapor [kg/h]
- $K_s$ - Coeficiente de pressão- Assume-se 1,94 para vapor saturado
- $K_{dr}$ - Coeficiente de descarga da válvula

Este dimensionamento é confirmado no site da marca LESER através da sua ferramenta VALVESTAR®. Esta ferramenta está feita segundo a norma ISO 4126-7 para vapor saturado e recomenda a utilização de uma válvula de segurança Leser DN80/125 calibrada para 12 bar.

Com os dados retirados desta válvula e com as condições de cálculo do gerador de vapor em análise temos:

- $P_0 = 1,1 \times 12 + 1 = 14,20 \text{ bar}$
- $\dot{Q}_m$ - 16000kg/h
- $K_{dr}$ - 0,7

Logo,

$$A_0 = 3122,74 \text{ mm}^2$$

A válvula selecionada tem uma secção de passagem de 4300,84 mm<sup>2</sup> sendo superior ao calculado, logo esta poderá ser a opção a utilizar.

Para cumprir com a ITC, com o cálculo e sendo que o G.V. tem mais de 50 m<sup>2</sup> de área de transferência de calor são então usadas duas válvulas de segurança LESER DN80/125 PN16, iguais às da Figura 30. Ainda para cumprir com a norma 12935-8 as linhas de descarga das válvulas devem ter um tamanho adequado a passar todo o caudal garantindo sendo que a contrapressão causada por curvas ou silenciador não deve ser maior que a recomendada pelo fabricante da válvula. O diâmetro da saída da válvula terá de ser maior que o da entrada e a descarga deve estar colocada de modo a descarregar o vapor de forma segura sem causar ferimentos a pessoas ou danos a materiais. Além disto a mesma deve estar protegida das intempéries que perturbem o seu normal funcionamento, por exemplo o gelo, não permitindo acumular água no seu interior.



Figura 30 - Válvulas de segurança Leser DN80 125 PN16.

#### 5.1.11 Visor de purgas e arrefecedor de amostras

Seguindo a norma 12953-6 ponto 4.7.1, a água deve estar de acordo com os parâmetros estabelecidos na norma 12953-10, por isso é necessário que uma análise seja feita aos condensados para encontrar eventuais matérias prejudiciais (por exemplo óleo, materiais orgânicos, etc.). Para tal são instalados um visor de purgas e um arrefecedor de amostras (Figura 31 e Figura 32) nos quais pode ser observado e retirado condensado para análise.



Figura 32 - Arrefecedor de amostras VYC.



Figura 31 - Visor de purgas.

### **5.1.12 Válvulas de purga dos coletores da fornalha e câmara de inversão**

Devido à grande dimensão dos coletores inferiores da fornalha e para não comprometer a qualidade do vapor são instaladas 2 válvulas de purga de fundo pneumáticas para limpeza dos sedimentos aí acumulados. Além destas duas válvulas serão também aplicadas válvulas com o mesmo objetivo nos coletores da câmara de inversão posterior aquatubular.

Na fornalha serão usadas 2 válvulas Valsteam VPA 46/2 DN25 PN16 (Figura 33), e para a purga dos coletores da câmara de inversão serão usadas duas válvulas de globo de soldar de 1”.



Figura 33 - Válvula Valsteam VPA46/2.

## **5.2 Grupo de bombagem**

Nos G.V., as bombas de alimentação destinam-se a repor a água que se transforma em vapor e que se perde na purga de fundo e na purga contínua.

Dependendo do gerador de vapor a construir será necessário ou não ter uma ou duas bombas de alimentação de água. Caso, por razões construtivas, a inércia térmica dos materiais utilizados (tais como refratários ou grelhas) existir a possibilidade de haver vaporização após o corte de combustível, o mesmo deverá possuir dois sistemas de alimentação de água com alimentação independente (Juanico, 1992). Para além disto, a existência de duas bombas permite que em caso de falha de uma o gerador de vapor continue em funcionamento enquanto a mesma é reparada.

No caso de ser um gerador de vapor alimentado com um combustível líquido e com poucos refratários pode ser instalada apenas uma bomba centrífuga com motor elétrico sendo que em caso de falha de energia a alimentação de combustível também será parada e a combustão terminará.

### **5.2.1 Seleção da bomba**

Aquando da escolha das bombas são tidos em atenção 5 pontos:

- Pressão manométrica que a bomba dá no ponto de caudal requerido: Por boa prática a Ambitermo manteve as regras do código alemão TRD e é aplicada uma margem de 20% acima da pressão de serviço do gerador de vapor para aplicações típicas, devendo este valor ser revisto no caso de a bomba estar muito longe do G.V. ou ter demasiados equipamentos/acessórios na linha de compressão que provoquem uma elevada perda de carga;
- Caudal de alimentação da bomba: Segundo a ITC a bomba de alimentação ou sistema equivalente deve ter um débito, pelo menos, igual a 1,25 vezes a vaporização máxima. Para compensar eventuais desgaste do rotor devido ao uso ao longo dos anos e eventual queda de caudal a Ambitermo aplica um fator de 30% ao caudal de vaporização na hora de seleção da bomba;
- NPSH: A escolha de uma bomba com baixo NPSH assume uma especial importância na hora de abastecer água a uma caldeira. Após a escolha com base no caudal e na pressão mesmo que estejam dentro da curva da bomba podemos ter na mesma cavitação na zona da flange da aspiração da bomba devido à alta temperatura da água proveniente do desgasificador ou tanque de condensados, alta temperatura que irá baixar a pressão de vaporização da água;

Para não haver cavitação é necessário que o NPSH disponível (energia do líquido à entrada da flange da bomba, para um dado sistema de tubagem dependente do fluido, pressão de vaporização e altura de aspiração (Juanico 1992)) seja superior ou igual ao NPSH necessário (energia necessária para que

o fluido possa vencer as perdas de carga no circuito de aspiração (Juanico 1992)). A forma ideal de garantir isto será aumentar o NPSH disponível desenhando o circuito de aspiração de modo a o aumentar e escolher uma bomba com versão de baixo NPSH;

- **Variação de velocidade:** A melhor forma de manter o nível de água dentro da caldeira estável, evitar arranques e paragens desnecessárias da bomba e poupar na fatura de energia é instalando nas caldeiras a biomassa um sistema de variação de velocidade nas bombas. A variação de velocidade será controlada com base no nível de água no interior da caldeira, sendo que quando há uma puxada mais acentuada de vapor para o circuito e o nível de água baixa a bomba irá acelerar para poder compensar o volume de água perdido durante a vaporização de forma quase imediata. Este controlo será efetuado com base numa cadeia de comunicação entre o eletrodo controlador de nível, o PLC e o variador da bomba;
- **Temperatura da água:** Como referido no ponto do NPSH, a temperatura da água irá influenciar a pressão de vaporização da mesma, sendo que quanto mais alta for a temperatura, mais baixa será a pressão a que a mesma vaporiza.

No processo de escolha da bomba é necessário primeiro definir o seu ponto de funcionamento. Aplicando os critérios descritos acima temos para cálculo do caudal:

$$Q_{bomba} = Q_{vaporização} \times 1,3 \quad (5.3)$$

Onde:

$$Q_{vaporização} = 16000 \text{ kg/h}$$

Logo, o caudal necessário que a bomba deverá debitar serão 20800 kg/h.

Por prática da empresa é assumido que a densidade da água a 105°C se mantém com 1000kg/m<sup>3</sup>, sendo realmente valor correto 954kg/m<sup>3</sup>, o que faria um caudal volúmico de 21900m<sup>3</sup>/h que a bomba teria de debitar para cumprir com os 30% a mais de caudal volúmico em relação à capacidade de vaporização. O dimensionamento seguirá na mesma com 1000kg/m<sup>3</sup> para manter a filosofia da empresa, por o erro ser apenas 5%, não compromete o caudal mínimo de abastecimento e a descida de pressão na curva da bomba não será inferior à pressão de serviço da caldeira.

Para cálculo da altura manométrica, temos:

$$H_{bomba} = P_{serviço} \times 1,2 \quad (5.4)$$

Onde:

$$P_{serviço}(g) = 100 \text{ m. c. a}$$

Logo, a pressão que a bomba deverá disponibilizar para o caudal já calculado será 12bar(g).

Tendo em conta estes valores e definindo a temperatura de entrada de água na caldeira de 105°C já proveniente de um desgasificador colocamos estes dados na ferramenta de dimensionamento online disponibilizada pela Grundfos e no mosaico das bombas da Figura 35 dá-nos os seguintes resultados:

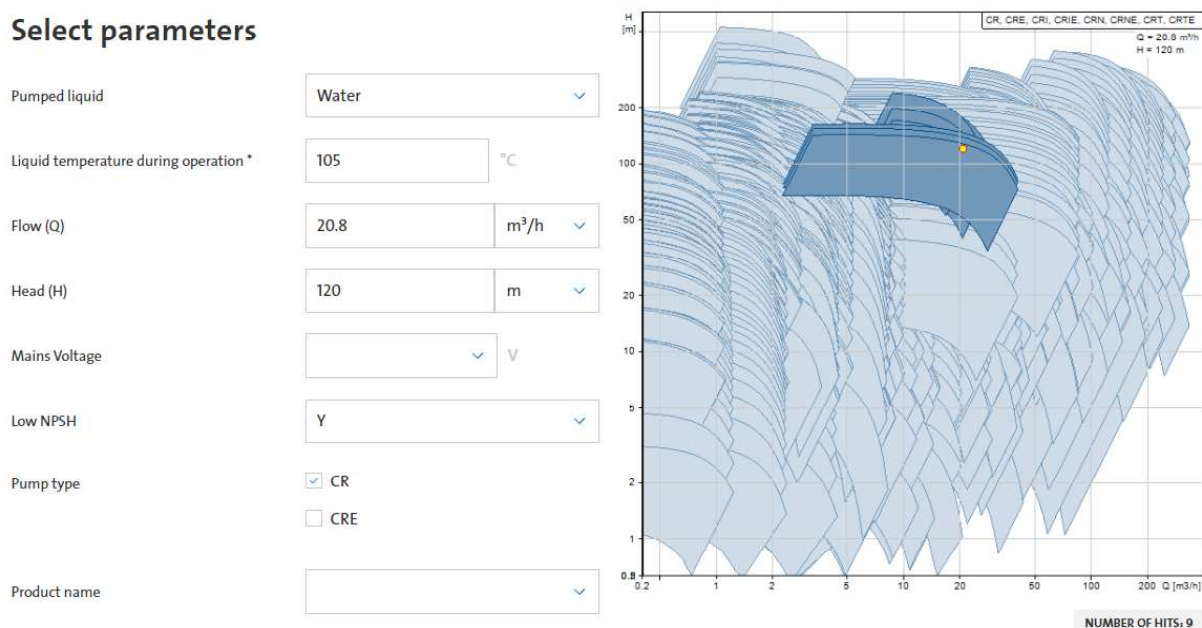


Figura 35 - Mosaico das bombas da ferramenta de Seleção da Grundfos

Curve	Product No	Product name	Life cycle cost [EUR/10 years]^	Energy [kWh/year]	Energy costs [EUR /a]	Eta pump [%]	Eta pump+motor [%]	Q [m³/h]	H [m]	Phase	U [V]	f [Hz]	P2 [kW]	Rated pump sp. [rpm]	Low NPSH
	<a href="#">96624514</a>	CR 20-10	54787	10663	3412.17	69.3	63.7	21.16	124.2	3	380-415D/660-690Y	50	11	2924	Y
	<a href="#">96581287</a>	CR 15-12	56021	11072	3543.01	66.2	60.9	21.08	123.3	3	380-415D/660-690Y	50	11	2924	Y
	<a href="#">96617904</a>	CR 32-7	56604	10192	3261.55	72.9	68.2	21.36	126.6	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96617905</a>	CR 32-8-2	62087	11336	3627.62	71.5	66.7	22.09	135.3	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96566208</a>	CR 15-14	63065	12605	4033.56	65.8	61.2	22.12	135.7	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96763955</a>	CR 32-8	63627	11691	3741.05	73.6	68.6	22.61	141.7	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96656095</a>	CR 20-12	64551	12506	4001.76	69.9	65.0	22.64	142.2	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96538771</a>	CR 20-14	73095	14368	4597.65	69.8	64.5	23.77	156.7	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y
	<a href="#">96534200</a>	CR 15-17	75280	14917	4773.39	64.6	59.6	23.25	149.9	3	380-415D/660-690Y	50	15	2923	Y

Figura 34 - Quadro de resultados do dimensionamento.

Após análise dos resultados dados no mosaico das bombas, disponíveis na Figura 34, vemos que o mesmo nos dá várias opções para o mesmo ponto de

funcionamento sendo que teremos de selecionar com base no critério de potência do motor e preço.

Sendo que as bombas CR20-10 e CR15-12 ambas satisfazem o ponto de funcionamento e têm a mesma potência, por comparação das curvas na Figura 36, vamos optar pela CR15-12 pois a mesma tem um maior alcance de caudais dentro da curva e o mesmo consumo de energia. O resultado completo do dimensionamento será apresentado na Figura 37.

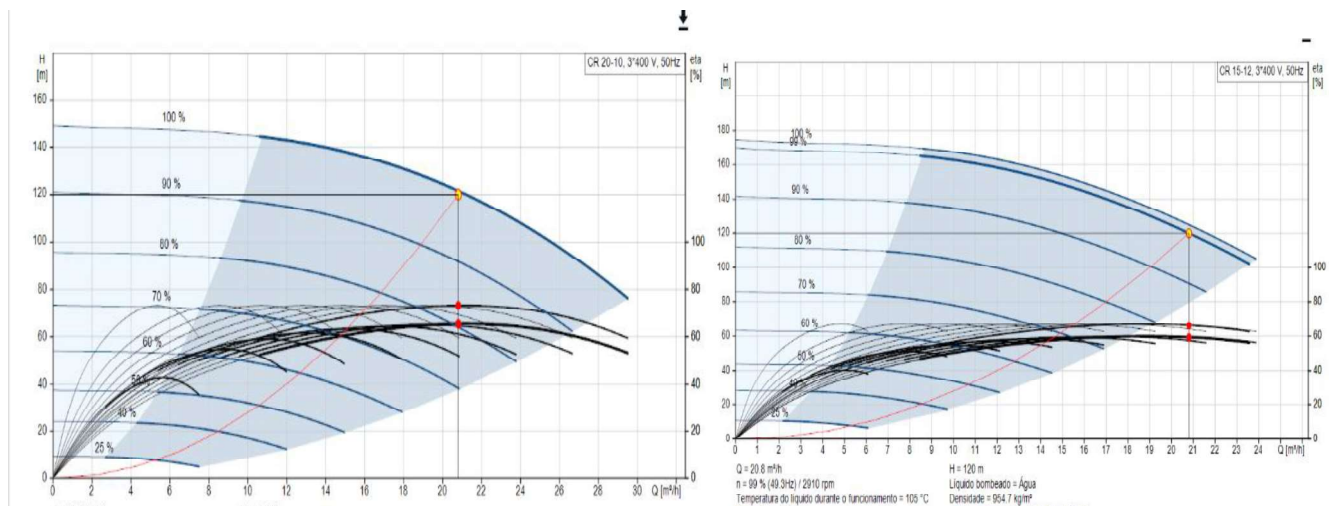


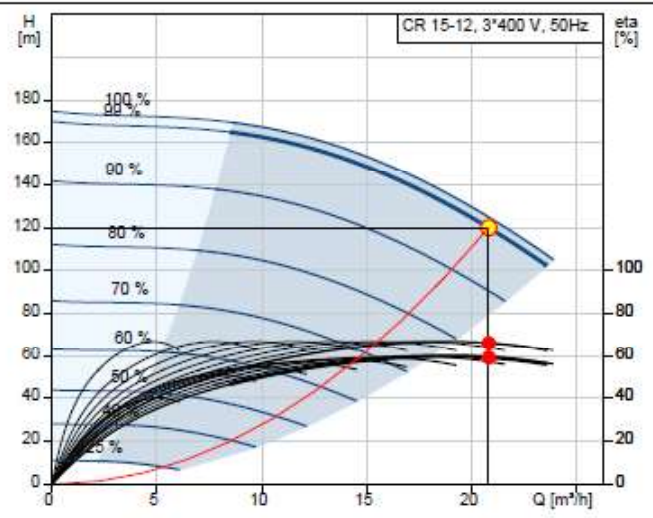
Figura 36 - Comparação do alcance das curvas das bombas. À esquerda CR20-10, à direita CR15-12.



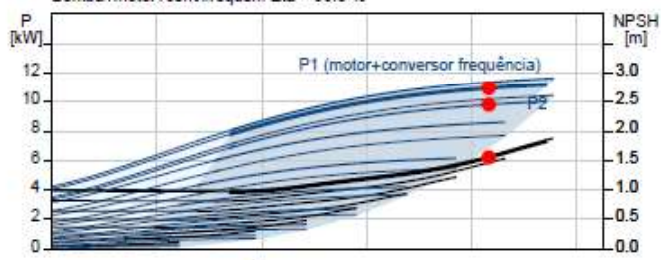
Nome empresa:  
Criado por:  
Telefone:

Data: 26/10/2023

Descrição	Valor
<b>Inf. geral:</b>	
Designação do produto:	CR 15-12 K-F-A-E-HQQE
Código::	96581287
Número EAN::	5700831400820
<b>Técnicos:</b>	
Velocidade da bomba na qual se baseiam os dados da mesma:	2910 rpm
Caudal efectivo calculado:	20.8 m³/h
Altura manométrica resultante da bomba:	120 m
Altura manométrica máxima:	172.6 m
Estágios:	12
Impulsores:	12
Número de impulsores de diâmetro reduzido:	0
Baixo NPSH:	Y
Orientação da bomba:	Vertical
Arranjo do empanque de veio:	Single
Código de empanque do veio:	HQQE
Aprovações:	CE,EAC,UKCA,SEPRO
Aprovações para água potável:	WRAS,ACS
Curva de tolerância:	ISO9906:2012 3B
Versão da bomba:	K
Modelo:	A
<b>Materiais:</b>	
Base:	Cast iron
Base:	EN 1561 EN-GJL-200
Base:	ASTM A48-25B
Impulsor:	Stainless steel
Impulsor:	EN 1.4301
Qualidade do material do impulsor:	AISI 304
Código de material:	A
Código para a borracha:	E
Rolamento:	SIC
<b>Instalação:</b>	
Temperatura ambiente máxima:	60 °C
Pressão máx. de funcionamento:	25 bar
Pressão máx. à temp. indicada:	25 bar / 120 °C
Pressão máx. à temp. indicada:	25 bar / -20 °C
Tipo de conexão:	DIN
Dimensão da conexão de entrada:	DN 50
Dimensão da conexão de saída:	DN 50
Nível de pressão para conexão:	PN 25



Q = 20.8 m³/h      H = 120 m  
 n = 99 % (49.3Hz) / 2910 rpm      Líquido bombeado = Água  
 Densidade = 954.7 kg/m³      Bomba Eta = 86.2 %  
 Temperatura do líquido durante o funcionamento = 105 °C  
 Bomba+motor+conv.frequên. Eta = 59.3 %



P1 (motor+convversor frequência) = 10.95 kW  
 P2 = 9.803 kW  
 NPSH = 1.55 m

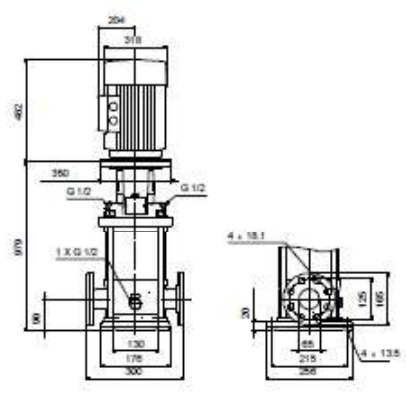


Figura 37 - Especificações técnicas da bomba e apresentação do ponto de funcionamento a 50Hz.

Serão então instaladas duas bombas Grundfos CR15-12 K-F-A-E-HQQE na caldeira a biomassa munidas de um variador a ser montado no quadro elétrico. Opta-se por um variador externo pois permite escolher as suas características e facilita a programação à equipa de automação da empresa.

### **5.2.2 Equipamento do grupo de bombagem**

Para poder escolher as válvulas necessárias para o circuito de aspiração e compressão é necessário primeiro definir os diâmetros de aspiração e da linha de entrada de água da caldeira.

O diâmetro do circuito de entrada de água já foi definido no capítulo 5.1.9.

O diâmetro do circuito de aspiração será também definido pela equação 5.1, impondo um limite de velocidade de escoamento máxima de 1,7 m/s. Sendo o caudal 20800 kg/h testamos uma linha DN80 com tubo P355GH  $\varnothing 88,9 \times 3,2$ mm. Após aplicação da equação 1 dá uma velocidade de 1,13m/s, considerando uma densidade de 955,17kg/m<sup>3</sup>. Perante este resultado consideraremos esta linha como DN 80.

Numa instalação correta de duas bombas em paralelo devemos assegurar que conseguimos isolar uma das bombas de modo a proceder a manutenção sem interromper o funcionamento do G.V., garantir que não há retorno de fluido sob pressão e garantir a mínima perda de carga possível nos circuitos de aspiração e compressão com atenção acrescida no circuito de aspiração devido à possibilidade de haver cavitação.

Numa típica instalação com 2 bombas em paralelo temos na linha de aspiração as seguintes válvulas e acessórios por ordem de montagem:

- Válvula de borboleta DN80 PN16;
- Filtro Y DN80 PN16;
- Conjunto Válvula de agulha + Manovacúmetro.

Do lado da linha de compressão temos:

- Conjunto válvula de agulha + Manómetro;
- Válvula anti-retorno de disco DN65 PN16;
- Válvula de globo manual DN65 PN16.

Na linha de aspiração merece destaque a válvula de borboleta pois é uma válvula capaz de fazer um bom isolamento da bomba sem provocar uma grande perda de carga.

O esquema de princípio que resume este equipamento encontra-se na Figura 38 e a sua pré-montagem na Figura 39.

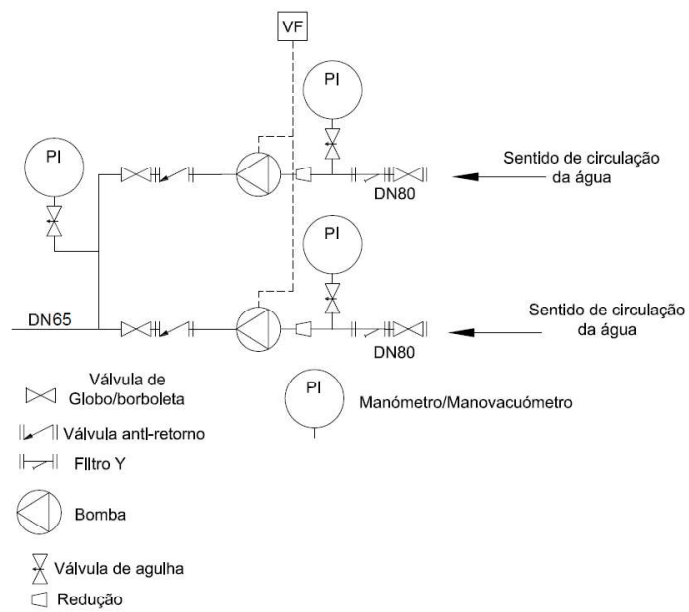


Figura 38 - Esquema de uma instalação de 2 bombas em paralelo.



Figura 39 - Pré-montagem de um grupo de bombagem em fábrica.

## **5.3 Instrumentação da fornalha e circuito de gases**

### **5.3.1 TopLoader**

Para falar na instrumentação da fornalha e do circuito de gases devemos começar antes de tudo pelo armazenamento de combustível. O combustível, tendo este um baixo risco de inflamabilidade e não emitindo gases que eventualmente sejam inflamáveis é guardado em silos à superfície equipados com ventilação natural e com medidas para extinção de incêndios segundo a norma 12953-12 ponto 4.

Os silos de armazenamento são silos do tipo “TopLoader”, que dependendo do cliente poderão ser da empresa TotalSystems ou da Javo mas o princípio de funcionamento será o mesmo.

Um raspador robotizado (Figura 40) controlado por um PLC próprio e com comunicação ao PLC da caldeira carrega o combustível desde o fundo do bunker até a uma série de tapetes rolantes que terminarão com descarga no alimentador. Cada silo tem uma capacidade aproximada para o volume de 3 camiões TIR com uma carga de 25 toneladas e sendo que após cada descarga o raspador robotizado irá sempre organizar a pilha de biomassa de forma que após algum tempo de consumo de combustível seja possível o camião entrar no silo novamente e descarregar a sua carga.

Este sistema de TopLoader é desenhado de forma a aguentar todo o stress mecânico solicitado à sua estrutura de acordo com a norma 12953-12.



Figura 40 - Arrastador robotizado.

Este tipo de silo de biomassa está equipado com dois motores munidos de variadores de frequência. Um dos motores tem como função fazer a elevação do arrastador e em conjunto com um sensor de posição transmite ao PLC o formato da pilha de biomassa em tempo real. O outro motor tem como função fazer o movimento transversal do arrastador ao longo do silo.

No tapete de descarga existe um motor com função ON-OFF com a função fazer o seu movimento. Está também equipado com um sensor tipo sonar que dá a informação ao PLC para diminuir a velocidade de avanço do arrastador de modo a descarregar uma quantidade controlada de biomassa em cima do tapete.

### **5.3.2 Transportadores de tela**

Todo o percurso que a biomassa faz desde o silo de armazenamento até ao alimentador é realizado com recurso a um ou vários transportadores de tela, como o da Figura 41, sendo os mesmos encomendados a uma empresa externa segundo o desenho de implantação da central a biomassa. No caso da obra em estudo foram instalados dois transportadores de tela da empresa Mano.

A sua montagem está feita de acordo com a norma 12953-12 ponto 4.2 de modo que:

- Após a falha de um tapete, o funcionamento dos restantes não seja comprometido e o silo permita uma descarga de um camião;
- Todos os componentes móveis estão protegidos de modo a evitar lesões.



Figura 41-Transportador de tela.

### **5.3.3 Alimentador**

De acordo com a norma EN12953-12 ponto 6.1 e 6.2, no alimentador deve existir um sistema que permita ligar o circuito de transporte de biomassa quando o monte de combustível dentro da tulha atinge uma altura mínima e deve ser garantido que após o desligamento do alimentador mais nenhum combustível consiga entrar na tulha.

Para garantir que este ponto da norma é cumprido é usada uma sonda de nível rotativa Endress+Hauser Soliswitch FTE20 Rotary paddle switch (Figura 42). Esta sonda é constituída por uma pá rotativa colocada dentro do alimentador que sempre que o alimentador tem combustível dentro a rotação da mesma é impedida e quando falta combustível a pá começa a rodar e é transmitido o sinal ao PLC que o combustível acabou. Após a receção do sinal o PLC dá ordem ao TopLoader para descarregar combustível para os tapetes rolantes e começar toda a sequência de alimentação de combustível.



Figura 42 - Sonda Endress+Hauser Soliswitch FTE20.

Além desta sonda, o alimentador é composto por um grupo hidráulico (Figura 43), composto por duas electroválvulas, uma bomba de óleo e um depósito, segundo o esquema da Figura 44. Este grupo, conectado ao PLC, é responsável pelo movimento do cilindro empurrador de biomassa para o interior da fornalha com o número de ciclos por minuto regulado de acordo com a carga do G.V..



Figura 43 - Unidade hidráulica do alimentador.

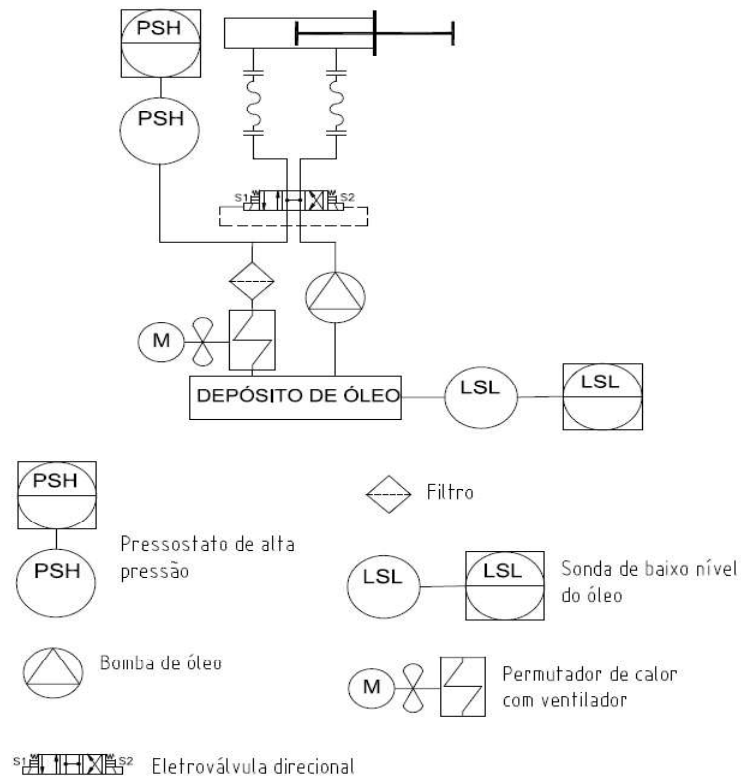


Figura 44 - Esquema hidráulico da unidade do alimentador.

Para evitar o recuo de chama para o alimentador e cumprir com a norma EN12953-12 ponto 6.5 que diz que dependendo do tipo de combustível deve ser instalado um equipamento de extinção de incêndios ativado automaticamente quando o alimentador atinge uma elevada temperatura que seja capaz de extinguir o incêndio rápido e que seja simples de testar.

Este tipo de equipamento está instalado em todos os alimentadores de biomassa da Ambitermo e é composto por um conjunto de válvulas de macho esférico, tubos, sprinklers no interior do alimentador, electroválvulas, filtros, pressostato e válvulas termostáticas que abrem em caso de ser atingida a temperatura de setpoint, tal como se mostra na Figura 46. O pressostato serve para emitir um alarme no PLC e alertar o operador no caso de faltar água na rede de extinção de incêndio.



Figura 45 - Montagem em fábrica de uma parte do sistema de extinção de incêndios.

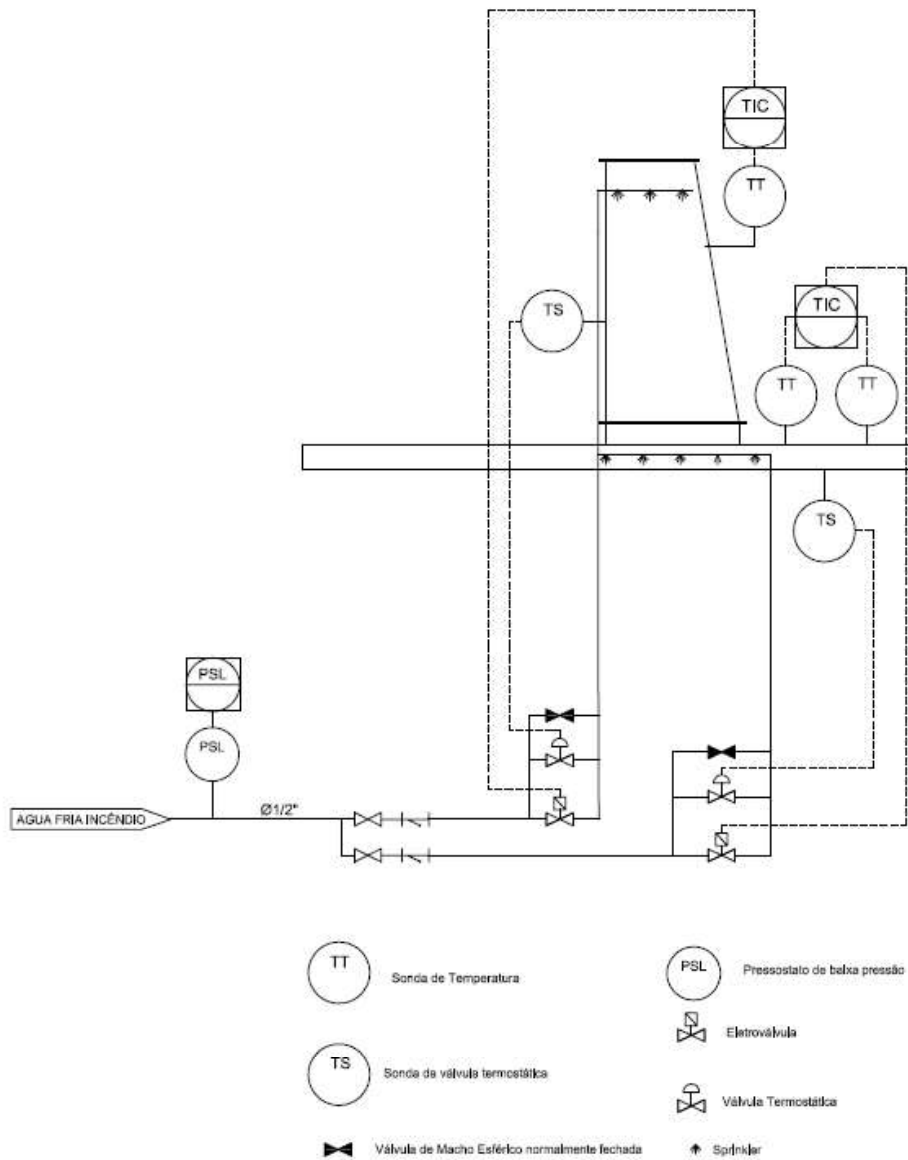


Figura 46 - Esquema de princípio do sistema de detecção e combate a incêndio no alimentador.

## **5.4 Fornalha**

Pela norma 12935-12 ponto 8 e 9 a combustão dentro da fornalha deve ser monitorizada e controlada de modo que seja assegurado um rácio ar/combustível adequado fazendo uma constante monitorização do mesmo assim como uma monitorização da temperatura do interior da fornalha. Para fazer este controlo recorre-se a um termopar tipo K (Figura 47) com cana pirométrica com uma gama de medição até 1100°C da marca F Fonseca e também a uma sonda de pressão diferencial Endress+Hauser Deltabar M PMD55 (Figura 48) que irá fazer o controlo da pressão da fornalha garantido que a mesma está em depressão. O rácio ar/combustível é monitorizado pela quantidade de O<sub>2</sub> à saída da câmara de exaustão dos gases com recurso a uma sonda de oxigénio da Marca SST modelo OXY-FLEX-1-H. No caso de o oxigénio descer a níveis abaixo do setpoint definido deve soar um alarme para alertar o operador.

Conjugando os dados da sonda de pressão, da sonda de oxigénio e da sonda de temperatura é controlada a velocidade de rotação do ventilador de insuflação de ar de combustão que será mencionado num próximo capítulo.



Figura 47 - Termopar tipo K + Cana pirométrica.



Figura 48 - Sonda E+H Deltabar M PMD55.

## **5.5 Grelha móvel**

Será por cima da grelha móvel, mostrada na Figura 49, que a combustão se irá efetuar, pelo que a principal função da mesma será assegurar o tempo de permanência correto da biomassa em cada uma das zonas para que se faça uma combustão completa como mencionado no capítulo 2. Será também função da grelha garantir a remoção das cinzas e inqueimados do seu interior.

Para tal, recorre-se ao uso de cilindros hidráulicos e sensores de posição que garantem o movimento das diversas partes da grelha através de uma complexa montagem de interligações mecânicas. Conforme a carga da caldeira, o PLC irá controlar as electroválvulas do circuito hidráulico de forma a ajustar o tempo de permanência da biomassa dentro da fornalha. A posição dos cilindros irá ser comunicada ao PLC com recurso a sensores de posição do tipo indutivo.

Com base também na carga da caldeira irá ser ajustada a quantidade de ciclos que os arrastadores de piso móvel longitudinal e transversal para retirada de cinzas irão fazer. Esse controlo no número de ciclos irá ser feito também pelo PLC através das electroválvulas.



Figura 49 - Grelha móvel em testes de fábrica.

O esquema de princípio para controlo de movimento da grelha móvel irá ser apresentado na Figura 50.

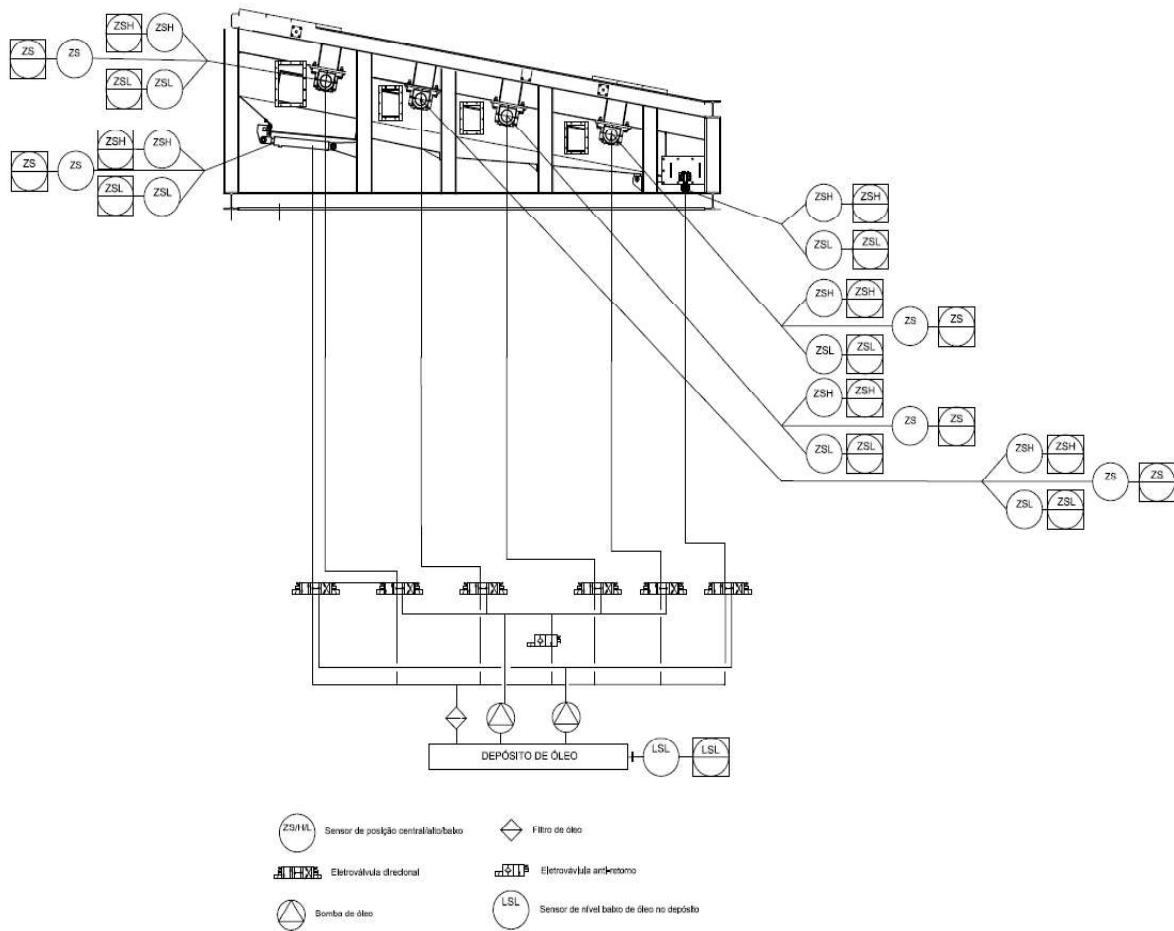


Figura 50 - Esquema de princípio do funcionamento da grelha móvel.

## **5.6 Ventiladores e circuito de ar de combustão**

O ar necessário para se processar a combustão no interior da fornalha irá ser fornecido através de dois ventiladores e de condutas de ar.

O ventilador de ar primário irá fazer com que entre ar por baixo da biomassa e sustente a combustão de forma controlada sendo que o ventilador de ar secundário irá injetar ar por cima da zona onde se efetua a queima garantindo a combustão dos gases voláteis libertados. A velocidade de rotação deste ventilador será controlada com base na percentagem de oxigénio lida pela sonda junto à câmara de saída de gases.

### **5.6.1 Dimensionamento de condutas e ventiladores**

Os ventiladores utilizados nos geradores de vapor a biomassa serão do tipo centrífugo, isto é, o ar entra paralelamente ao eixo de rotação do impulsor. A pressão total do ventilador é-nos dada pela soma da pressão dinâmica, responsável pela velocidade do ar na conduta, e pela pressão estática, que será a energia utilizada para vencer as perdas de carga na conduta.

Para definir o diâmetro das condutas de ar de combustão e ventiladores de ar primário e secundário recorre-se ao ar em proporção estequiométrica, que segundo o software utilizado para dimensionamento térmico, ao qual o aluno não teve acesso, será 13 800 Nm<sup>3</sup>/h

A distribuição de ar nos injetores é feita tendo em conta a secagem da biomassa na zona do ar primário 1, a gaseificação/combustão na zona de ar primário 2 e 3 e na zona de ar primário 4 já praticamente só restarão cinzas.

No ar secundário será utilizado um ventilador independente que entrará todo por um injetor independente por cima da zona de combustão de modo a garantir a combustão completa.

Para definir o tamanho das condutas é tida em conta a perda de carga aceitável no circuito.

Para a escolha dos ventiladores e condutas, primeiro será necessário saber quais as necessidades de ar da combustão. Pelo cálculo efetuado no capítulo do dimensionamento térmico as necessidades de ar para a fornalha serão de 20 188 Nm<sup>3</sup>/h, mas considerando os dados do programa informático utilizado para o dimensionamento térmico ao qual o aluno não tem acesso é considerado um caudal de 22 000 Nm<sup>3</sup>/h.

No mesmo software é elaborado o cálculo da perda de carga no circuito, onde no circuito de ar de combustão temos uma perda de carga de 110 mm.c.a.

Implementando uma margem de segurança de 20% relativamente a metade dos 22 000 Nm<sup>3</sup>/h, para o ventilador de combustão utilizaremos dois ventiladores que

consigam debitar um caudal de ar de 14 000 Nm<sup>3</sup>/h e com uma pressão estática de 20 mbar cada um.

Para cumprir estes critérios foram então escolhidos dois ventiladores da marca Ferrari modelo FR 502 N com um caudal máximo de 14000 Nm<sup>3</sup>/h e uma pressão estática de 20 mbar sendo um para o ar primário e outro para o ar secundário. Ambos os ventiladores serão equipados com um variador de frequência de modo a ser possível ajustar a quantidade de ar em função da carga da fornalha. A curva de funcionamento dos ventiladores de ar de combustão é apresentada na Figura 51.

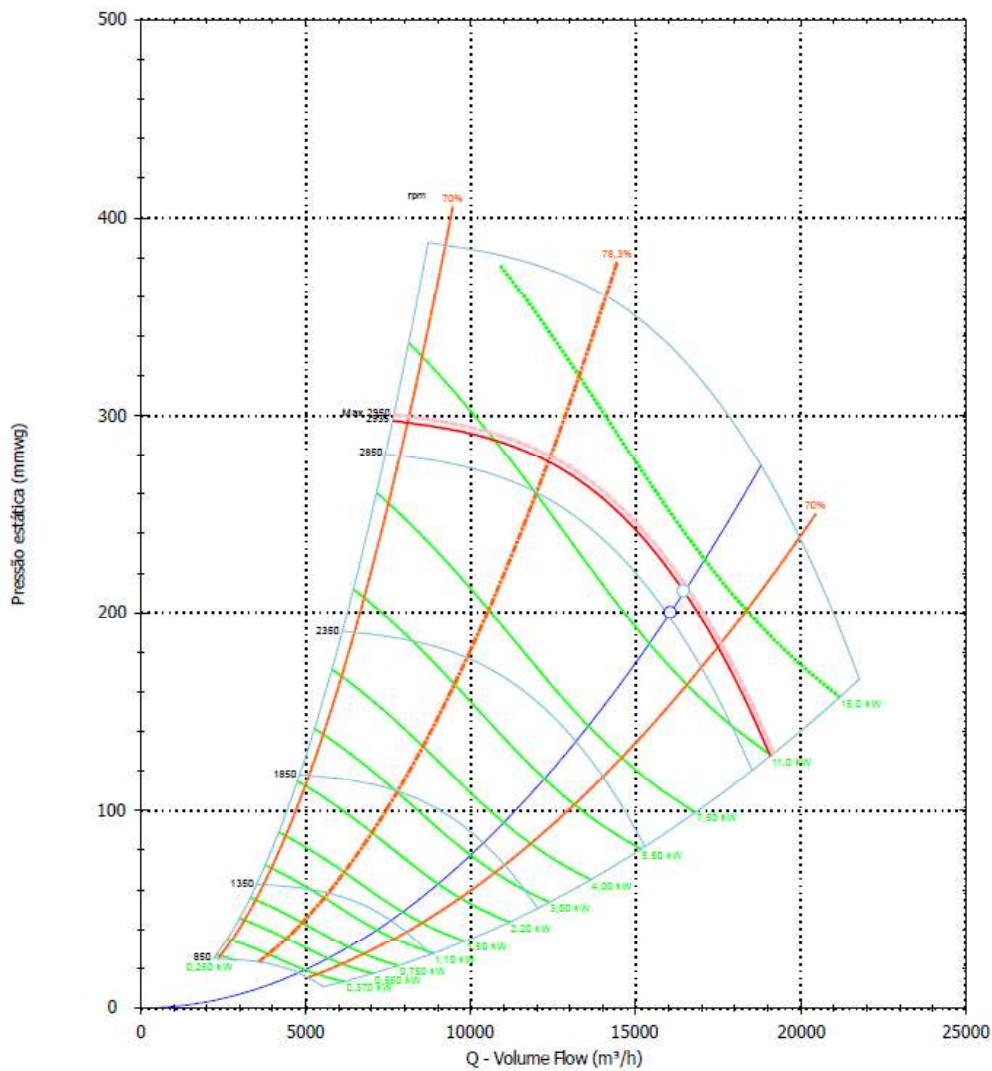


Figura 51 - Curva dos ventiladores do ar de combustão.

## 5.7 Ventiladores e circuito de gases de combustão

Na escolha do ventilador dos gases de combustão é tida em atenção a perda de carga do circuito de gases do qual fazem parte os seguintes componentes:

- Caldeira
- Multiciclone
- Economizador
- Conduatas
- Filtro de mangas

Após cálculo em software temos o valor de 40 mbar de perda de carga.

Aplicando a margem de segurança de 20% e considerando que o caudal de gases de combustão será igual às necessidades de ar da fornalha que serão cerca de 22 000 Nm<sup>3</sup>/h, a escolha será um ventilador de marca Ferrari modelo ART 1121/4 com uma capacidade de 23 600 Nm<sup>3</sup>/h e uma pressão estática de 50 mbar. Este ventilador será equipado com variador de frequência de modo a ajustar a velocidade do mesmo em função da carga da fornalha. A curva de funcionamento dos ventiladores de extração é apresentada na Figura 52.

ART 1121 N - Ventilador centrífugo acoplamento directo com inverter

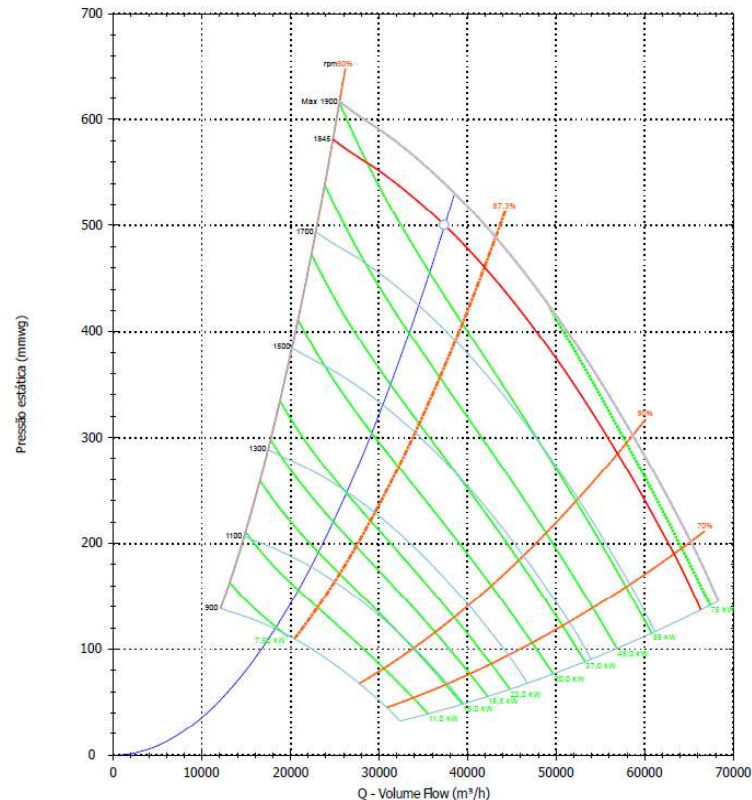


Figura 52 - Curva característica do ventilador de extração.

## **5.8 Economizador**

Em conjunto com a caldeira é fornecido um economizador de calor do tipo gastubular vertical, sendo este dimensionado segundo a norma EN12953, tal como o G.V., por ser equiparado a uma caldeira gastubular.

O economizador tem um volume de 5800 litros e funciona a uma pressão de 10 bar e, sendo um equipamento isolável, a construção do mesmo é segundo o Decreto de Lei nº131 de 2019 Artigo 2.º que o classifica como um equipamento sob pressão.

Este equipamento serve para fazer um aproveitamento dos gases de combustão da caldeira que ainda saem a uma temperatura alta, sendo ainda possível retirar energia. Com o aproveitamento da energia é possível subir a temperatura da água de alimentação da caldeira e diminuir a temperatura dos gases.

Na parte de instrumentação, somos guiados pela norma 12953-6, pela ITC do Despacho 22332/2001, de 30 de outubro e pelo decreto de lei nº131-2019. Assim sendo, à semelhança da caldeira, será equipado com:

- Manómetro vertical com diâmetro 160 mm, gama 0 a 25 bar com primeira verificação assim como respetiva válvula de 3 vias e sifão;
- Válvula de segurança para água calibrada para 13 bar (1 bar acima da caldeira para compensar a altura do economizador);
- Válvulas de globo DN50 PN16 para fazer by-pass ao eco em caso de avaria, para que a mesma não implique a paragem do gerador de vapor;
- Válvula de retenção de obturador na entrada de água para evitar retorno do fluído em direção ao grupo de bombagem e evitar danos no mesmo;
- Válvulas de globo em aço para soldar #800,  $\phi 1/2"$  para colocar no respiro;
- Válvula de purga de fundo automática VPA 26/2 DN40 PN40. Mesmo modelo da purga dos coletores da fornalha, mas em DN40;
- Válvula macho esférico PEKOS Fig. 4 Vedante SSS DN40 PN40. Válvula de macho esférico especial para altas temperaturas e altas pressões com empanques mais resistentes que as válvulas de macho esférico comuns;
- Sondas de temperatura e termómetros na entrada e saída de água assim como na entrada e saída de gases. Segundo o Decreto Lei nº131-2019 ponto 5.10 é obrigatória a existência de indicação de temperatura na saída de água e no ponto 7.10 é referido que é obrigatório um indicador de temperatura na saída de gases.

## **6 CONCLUSÕES**

Neste relatório foram descritas as principais fases do projeto e construção de uma central térmica a biomassa, elaborada na Ambitermo.

Durante o estágio o aluno teve oportunidade de passar por vários departamentos, com destaque para o departamento de engenharia e desenvolvimento que é responsável pela escolha de toda a instrumentação da central.

De salientar também que uma das primeiras atividades a que o aluno assistiu foi o arranque o comissionamento de uma central a biomassa, no qual participou ativamente durante cerca de um mês e que contribuiu para adquirir logo um elevado conhecimento prático no início do estágio, o que facilitou o trabalho já no departamento de Engenharia e Desenvolvimento.

Durante o estágio o aluno participou em diversas etapas da execução do projeto, destacando sempre o departamento de engenharia e desenvolvimento onde dimensionou tubagem, escolheu instrumentação para controlo, elaborou esquemas de princípio e controlo (P&ID), dimensionou válvulas, grupos de bombagem e nalgumas ocasiões queimadores e rampas de gás para G.V. a gás natural.

O estágio foi uma excelente oportunidade para aplicar os conhecimentos adquiridos durante a licenciatura e mestrado em Engenharia Mecânica, permitindo assim ao aluno ter contacto com o mercado de trabalho e perceber como funciona uma empresa e o trabalho de equipa dentro da mesma.

Posso considerar que o estágio foi um sucesso pois no fim do mesmo foi proposto continuar na empresa na forma de estágio profissional.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Juanico, Filipe J.M.; “Geradores de Calor”; ECEMEI, 1992
- ICNF, 6.º INVENTÁRIO FLORESTAL NACIONAL, 2015
- Catálogo Gestra Product Range Technical Information, 2024
- <https://www.valsteam.com/pt/produtos/adca>
- <https://www.endress.com/en>
- <https://www.pt.endress.com/pt/produtos/medicao-pressao-industrial/pressao-manometrica-cerabar-pmp11?t.tabId=product-overview>
- <https://www.pt.endress.com/pt/produtos/medicao-pressao-industrial/Differential-pressure-Deltabar-PMD55?t.tabId=product-overview>
- <https://www.valsteam.com/pt/adca/valvulas-de-controlo/pc-28>
- <https://www.ari-armaturen.com/>
- [https://www.diessefluidcontrol.com/EN/products\\_gauges\\_glass\\_reflex.html](https://www.diessefluidcontrol.com/EN/products_gauges_glass_reflex.html)
- <https://www.gestra.com/global/pt-PT>
- <https://product-selection.grundfos.com/pt/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt-crte/cr/cr-15-12-96501902?pumpsystemid=2277367808&tab=variant-curves>
- <https://www.ferrariventilatori.com/en-fe/>
- Decreto-Lei n.º 39/2018, de 11 de junho
- Decreto-Lei n.º 111-D/2017, de 31 de agosto
- Decreto-Lei n.º 131/2019, de 30 de agosto
- Despacho n.º 11551/2007, de 12 de junho
- Despacho 22332\_2001 ITC Geradores de Vapor
- PED - Diretiva de Equipamentos sob Pressão (2014/68/EU)
- BS EN12953 – Shell boilers
- Grade, António M.M.- EQUIPAMENTOS E PROCESSOS TÉRMICOS- TEXTO DE APOIO ÀS AULAS TEÓRICAS, 2021

# ANEXO 1-BOLETIM DE ANÁLISES À BIOMASSA



LE.CBE - Laboratório de Ensaios do CBE

BOLETIM DE ENSAIOS Nº 70 /23



AMOSTRA LE-CBE Nº 70 /23

<b>Identificação do tipo de amostra:</b>	Biocombustíveis sólidos - Biomassa
<b>Informação cedida pelo cliente:</b>	20220030 - Amostra 1
<b>Análise pedida por:</b>	Ambitermo
<b>Endereço:</b>	Zona Industrial de Cantanhede, lote 37, 3060-197 Cantanhede
<b>Local de amostragem:</b>	da responsabilidade do cliente
<b>Responsável pela recolha da amostra:</b>	cliente
<b>Data de receção da amostra:</b>	28-02-2023
<b>Datas de início e de conclusão dos ensaios:</b>	28-02-2023 a 09-03-2023
<b>Data de emissão do boletim de ensaios:</b>	09-03-2023

Reprodução parcial proibida

PARÁMETRO	RESULTADO	INCERT. (4)	UNID.	MÉTODO	OBSERVAÇÕES
Teor de humidade total <sub>st</sub> / Total moisture content <sub>st</sub>	40,0	±3,1	% (m/m)	ISO18134-1:2015	Gravimetria
Teor de humidade numa amostra para análise <sub>st</sub> / Moisture general analysis sample <sub>st</sub>	---	---	% (m/m)	ISO18134-3:2015	Gravimetria
Teor de Cinzas <sub>st</sub> / Ash content <sub>st</sub>	8,9	±1,0	% (m/m)	ISO18122:2015	Gravimetria
Teor de Cinzas <sub>st</sub> / Ash content <sub>st</sub> (1)	---	---	% (m/m)	ISO16993:2016	Calculo
Teor de carbono total <sub>st</sub> / Total carbon content <sub>st</sub>	47,3	±1,0	% (m/m)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de hidrogénio total <sub>st</sub> / Total hydrogen content <sub>st</sub>	6,0	±0,5	% (m/m)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de azoto total <sub>st</sub> / Total nitrogen content <sub>st</sub>	0,9	±0,1	% (m/m)	ISO16948:2015	AE de CHN
Teor de oxigénio total <sub>st</sub> / Total oxygen content <sub>st</sub>	38,8	±2,6	% (m/m)	ISO16993:2016	Calculo
Teor de enxofre total <sub>st</sub> / Total sulphur content <sub>st</sub>	0,04	±0,01	% (m/m)	ISO16994:2016 Method A	Cromat. iónica
Teor de cloro total <sub>st</sub> / Total chlorine content <sub>st</sub>	0,07	±0,02	% (m/m)	ISO16994:2016 Method A	Cromat. iónica
Poder calorífico superior, volume constante <sub>st</sub> / Gross calorific value, constant volume <sub>st</sub>	18,76	±0,25	MJ/kg	ISO18125:2017	calorimetria
Poder calorífico inferior :					
Poder calorífico inferior, pressão constante <sub>st</sub> / Net calorific value, constant pressure <sub>st</sub>	17,47	±0,28	MJ/kg	ISO18125:2017	Calculo
Poder calorífico inferior, pressão constante <sub>st</sub> / Net calorific value, constant pressure <sub>st</sub>	8,50	±0,65	MJ/kg		
Densidade aparente <sub>st</sub> / Bulk density <sub>st</sub>	---	---	kg/m <sup>3</sup>	ISO17828:2015	Volumetria/gravimetria
Durabilidade mecânica de peletes <sub>st</sub> / Mechanical durability of pellets <sub>st</sub>	---	---	% (m/m)	ISO17831-1:2015	Gravimetria
Teor de finos de peletes <sub>st</sub> / Fines content of pellets <sub>st</sub>	---	---	% (m/m)	ISO18846:2016	Gravimetria
Porção teste <sub>st</sub> / Test portion <sub>st</sub>	---	---	kg		
Comprimento e diâmetro de peletes / Length and diameter of pellets :					
Classe dos peletes / Pellets Class	---	---	mm		
% de peletes na classe / Class % share	---	---	% (m/m)		
% de peletes > 40 mm / w% of pellets longer than 40 mm	---	---	% (m/m)		
Quantidade dos peletes > 40 mm / Number of pellets longer than 40 mm	---	---	unid.	ISO17829:2015	Análise dimensional
Comprimento médio dos peletes / Mean value of the pellet length	---	---	mm		
Desvio padrão do comprimento / Standard deviation of the length	---	---	mm		
Diâmetro médio dos peletes / Average diameter	---	---	mm		
Desvio padrão do diâmetro / Standard deviation of the diameter	---	---	mm		
Teor de Arsénio <sub>st</sub> / Arsenic content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Chumbo <sub>st</sub> / Lead content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Cádmio <sub>st</sub> / Cadmium content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Crómio <sub>st</sub> / Chromium content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Cobre <sub>st</sub> / Copper content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Níquel <sub>st</sub> / Nickel content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA câmara de grafite
Teor de Zinco <sub>st</sub> / Zinc content <sub>st</sub> (1)	---	---	mg/kg	ISO16968:2015	EAA de chama

Centro de Biomassa para a Energia - Zona Industrial - 3220-119 Miranda do Corvo - tel. 239532436 - geral@centrodabiomassa.pt - neuza.alves@centrodabiomassa.pt - www.centrodabiomassa.pt

Código: Imp.7.8.08(3)

Entidade Emissora: RURQ

Página 1 de 3



LE.CBE - Laboratório de Ensaios do CBE



Informação Adicional <sup>(5)</sup>

Reprodução parcial proibida

FOTOGRAFIA DA AMOSTRA




(5) A informação adicional contida neste Boletim de Ensaio não se encontra incluída no âmbito de acreditação.

X   
Elsa Canele  
Responsável Técnica

X   
Neusa Alves  
Responsável do Laboratório

## ANEXO 2-FICHEIRO GERADO PELA FERRAMENTA LESER VALVESTAR


 The-Safety-Valve.com	<b>Dimensionar de acordo com:                  DIN EN ISO 4126-7 para Vapor Saturado                  VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	1 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	

Dimensionamento - Fluido			
1000	Designação	Vapor Saturado	
1004	Fórmula	H2O	
1002	Expoente Isentrópico	k	1.136
1007	Volume Específico	v	0.139 m <sup>3</sup> /kg

Dimensionamento - Condições de Serviço			
1100	Pressão Máxima de Trabalho Permissível (PMTA)		
1101	Pressão de Ajuste	p	12 bar-g
1102	Constant superimposed back pressure	paf	
2102	Variable superimposed back pressure		
1103	Contrapressão Desenvolvida	pae	
1104	Contrapressão		
1105	Sobrepresão	dp	10.00 %
1106	Pressão Atmosférica	pu	1.013 bar
1107	Relieving Temperature	T	468.854 K
1111	Operating Temperature		468.854 K
1108	Vazão Mássica Requerida	qm,ab	16,000 kg/h
1109	Vazão Volumétrica Requerida (Condição de Trabalho)	qvb,ab	2,220.492 m <sup>3</sup> /h

Dimensionamento - Cálculo			
1200	Vazão Mássica Certificada	qm,zu	22,046.839 kg/h
1201	Vazão Volumétrica Certificada (Condição de Trabalho)	qvb,zu	3,059.677 m <sup>3</sup> /h
1203	Vazão Volumétrica Certificada (Condição de Normal)	qvn,zu	
1204	Máxima Vazão Mássica	qm,max	24,496.488 kg/h
1205	Máxima Vazão Volumétrica (Condição de Trabalho)	qvb,max	3,399.641 m <sup>3</sup> /h
1206	Máxima Vazão Volumétrica (Condição Norma)	qvn,max	
1207	Excesso de Capacidade		37.79 %

Nome	marcelotome			
Data	2022-04-28 16:02:17			
Rev.No	1			

 The-Safety-Valve.com	<b>Dimensionar de acordo com:                  DIN EN ISO 4126-7 para Vapor Saturado                  VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	2 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	

Valve - Geral			
1500	Código LESER		4421.4435
1512	Reseller article number		
1513	Quantity of safety valve		1
1501	Coef. de Descarga Certificado para Vapor e Gases	Kdr,gas	0.7
1502	Coef. de Descarga Certificado para Líquidos	Kdr,liquid	0.45
1505	Castelo / Alavanca		Castelo aberto com alavanca H3
1506	Mateiral do Corpo		0.6025 / Cast iron
1511	Castelo		Castelo Aberto
1514	Order code	4421.4435-12 bar_g-H45H51-3.3	

Conexão de entrada			
1303	Padrão de Conexão		conforme DIN EN 1092
1304	DN / NPS		80
1305	PN / PR		PN 16
1306	Face do Flange	DIN EN 1092-1 Form B1 (DIN 2526 Form C)	


Conexão de saída			
1353	Padrão de Conexão		conforme DIN EN 1092
1354	DN / NPS		125
1355	PN / PR		PN 16
1356	Face do Flange	DIN EN 1092-1 Form B1 (DIN 2526 Form C)	

Válvula - Dimensões				
1400	Área de Descarga	Ao	4,300.84	mm <sup>2</sup>
1401	Diâmetro de Descarga	do	74	mm
1402	Dimensão Centro-Face	a	195	mm
1403	Dimensão Centro-Face	b	160	mm
1405	Altura	H	801	mm
1406	Peso	M	56	kg

Curso			
1507	Padrão		18 mm


Nome	marcelotome			
Data	2022-04-28 16:02:17			
Rev.No	1			

Projeto e construção de centrais térmicas a biomassa

 The-Safety-Valve.com	<b>Dimensionar de acordo com:                  DIN EN ISO 4126-7 para Vapor                  Saturado                  VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	3 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	

Válvula - Cálculo				
1200	Vazão Mássica Certificada	qm,zu	22,046.839	kg/h
1201	Vazão Volumétrica Certificada (Condição de Trabalho)	qvb,zu	3,059.677	m³/h
1203	Vazão Volumétrica Certificada (Condição de Normal)	qvn,zu		
1204	Máxima Vazão Mássica	qm,max	24,496.488	kg/h
1205	Máxima Vazão Volumétrica (Condição de Trabalho)	qvb,max	3,399.641	m³/h
1206	Máxima Vazão Volumétrica (Condição Norma)	qvn,max		
1207	Excesso de Capacidade		37.79	%
1600	Área de Descarga Efetiva Requerida	Ao, req	3,121.239	mm²
1601	Diâmetro de Descarga Requerido	do, req	63.04	mm
1618	Cold differential test pressure	CDTP	12.08	bar-g
1620	Cold differential test pressure, manual	CDTP		


Nome	marcelotome			
Data	2022-04-28 16:02:17			
Rev.No	1			

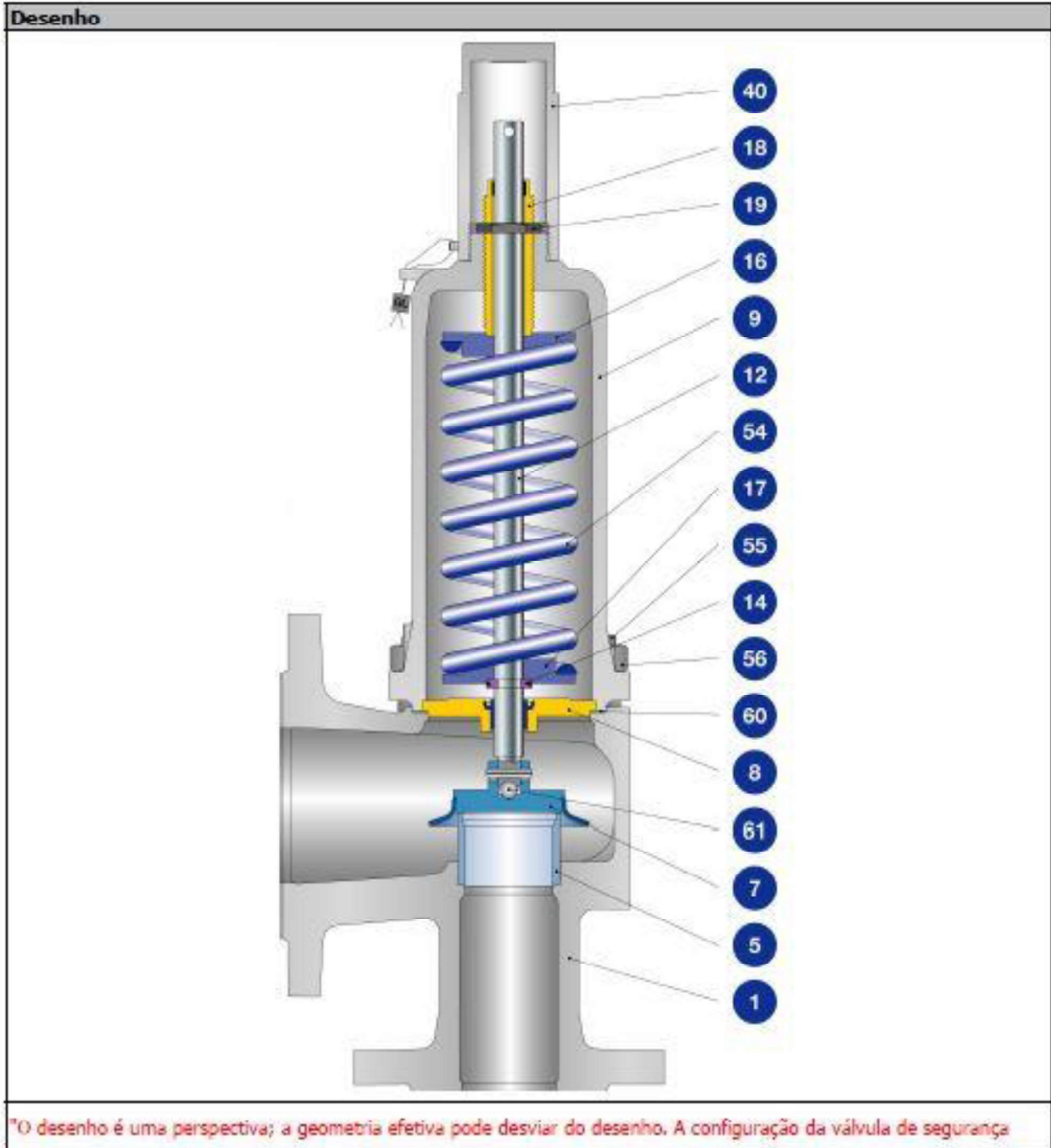
 The-Safety-Valve.com	<b>Dimensionar de acordo com:                  DIN EN ISO 4126-7 para Vapor Saturado                  VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	4 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	

Válvula - Lista de Peças					
	Pos Nº	Denominação	Q	Material ASME	Material DIN
12010	1	Corpo	1	Cast iron	0.6025
12010	5	Sede	1	316L	1.4404
12010	7	Disco	1	Hardened Stainless steel	1.4122
12010	8	Guia	1	Steel	1.0501/1.0038/1.4104
12010	9	Castelo	1	Ductile Gr. 60-40-18	0.7040
12010	12	Haste	1	420	1.4021
12010	14	Anel Bi-Partido	2	SA 479 430	1.4104
12010	16	Prato da mola	1	Steel	1.0718/1.0570
12010	17	Prato da mola	1	Steel	1.0718/1.0570
12010	18	Parafuso de regulagem	1	SA 479 430	1.4104
12010	19	Porca trava	1	Steel	1.0718
12010	22	Limitador de curso	1	316L	1.4404
12010	40	Alavanca H3	1	Ductile Gr. 60-40-18	0.7040
12010	54	Mola	1	Carbon steel	1.8159/FD Si Cr
12010	55	Parafuso	8	Steel	1.1181
12010	56	Porca	8	2H	1.0501
12010	57	Pino	1	Stainless steel	1.4310
12010	59	Anel de segurança	1	316Ti	1.4571
12010	60	Junta	1	Graphite/1.4401	Reingraphit + 1.4401
12010	61	Lavador de Esfera	1	Hardened Stainless steel/316	1.3541/1.4401


LESER é independente para melhorar materiais sem notificação adicional.

Nome	marcelotome				
Data	2022-04-28 16:02:17				
Rev.No	1				

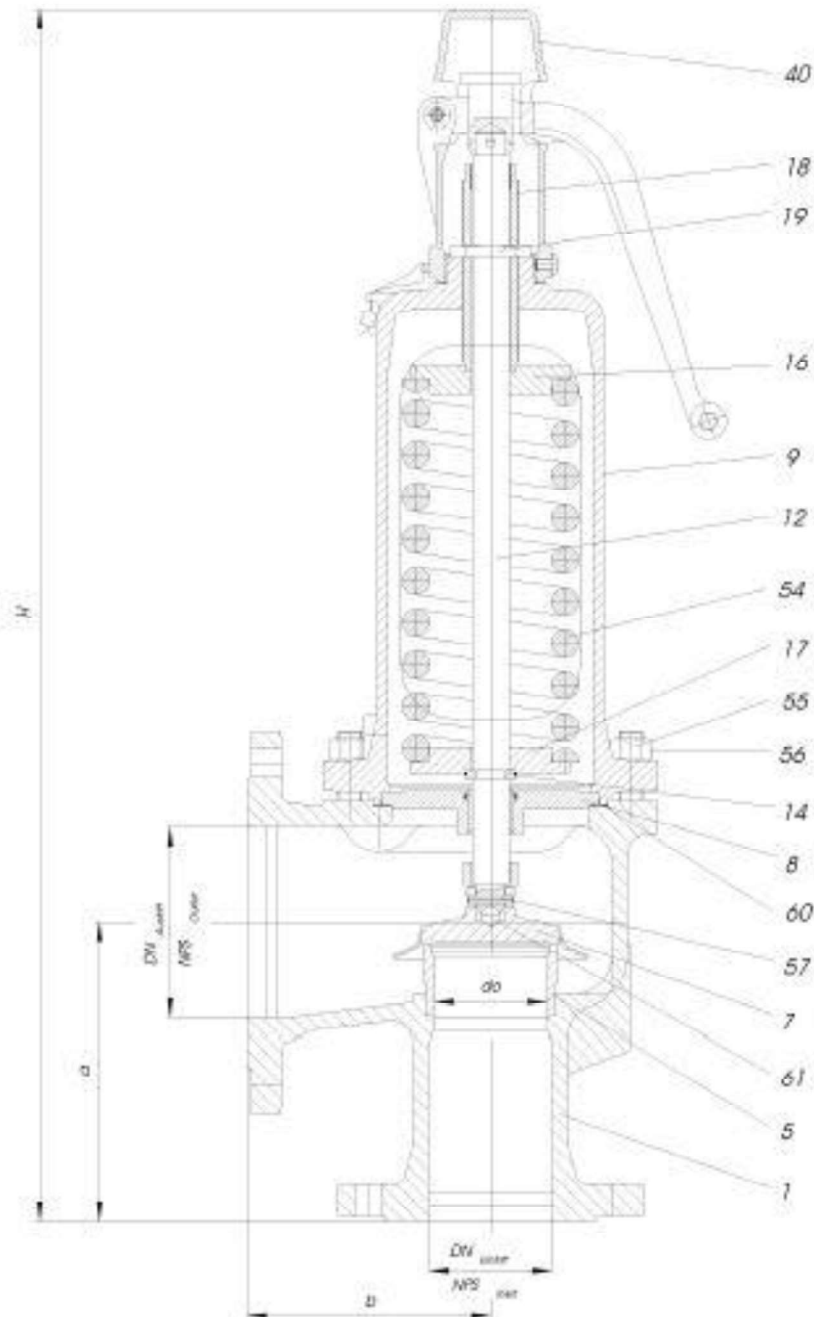
 The-Safety-Valve.com	Dimensionar de acordo com: <b>DIN EN ISO 4126-7 para Vapor Saturado</b> <b>VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	5 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	



Nome	marcelotome				
Data	2022-04-28 16:02:17				
Rev.No	1				

 The-Safety-Valve.com	<b>Dimensionar de acordo com:</b> <b>DIN EN ISO 4126-7 para Vapor Saturado</b> <b>VALVESTAR® - v.7.3.0.51221</b>	Página:	6 of 6
		Data:	2022-04-28 16:02:16
		Projeto	Novo Projeto 93
		TAG Nº	
		LESER Job Nº	

**Desenho**



"O desenho é uma perspectiva; a geometria efetiva pode desviar do desenho. A configuração da válvula de segurança pode ter efeito sobre as dimensões centro-face."

Nome	marcelotome			
Data	2022-04-28 16:02:17			
Rev.No	1			







**Instituto Superior  
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra