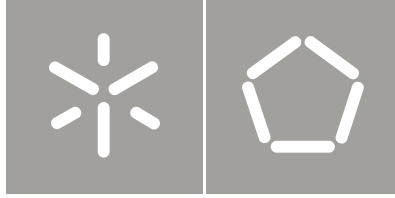




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Manuel Miranda Mendes

Ensaio de equipamento de aquecimento
ambiente a pellets para marcação CE



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Carlos Manuel Miranda Mendes

Ensaio de equipamento de aquecimento
ambiente a pellets para marcação CE

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira

e co-orientação do
Professor Doutor José Carlos Fernandes Teixeira

AGRADECIMENTOS

Quero aqui exprimir uma palavra de apreço a todos os que, de uma forma ou outra, contribuíram para a execução deste projeto de dissertação de mestrado:

- Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Eduardo Cardoso Ferreira e Professor Doutor José Carlos Teixeira, pela orientação e apoio;
- À empresa Manufatura Santos,S.A., que gentilmente cedeu o equipamento para ensaios;
- Ao Professor Doutor Eurico Seabra, pelo contributo com os seus conhecimentos na programação em *LabVIEW*;
- À empresa Vimasol, na pessoa do Sr. Rui Pereira, pela fabricação de peças essenciais à construção da instalação experimental;
- Aos meus amigos pelo encorajamento e disponibilidade manifestada;
- À Doutora Susana Baptista pela imprescindível motivação e apoio prestado;
- A todos aqueles que não mencionei, mas que intervieram direta ou indiretamente na elaboração deste projeto;
- Por último quero agradecer e dedicar a tese à minha família, pelo apoio prestado em todos os momentos.

RESUMO

A crescente procura de sistemas de aquecimento residencial que utilizam pellets de biomassa, fomenta a necessidade de desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e economicamente competitivas. O mercado deste tipo de equipamentos está já bem desenvolvido nos mercados internacionais, com especial incidência na Alemanha, Áustria e Itália.

Normas europeias aplicadas a este tipo de equipamentos foram já publicadas e são regularmente discutidas e atualizadas no sentido de desenvolver vigorosos esforços na certificação destes equipamentos. Nesse âmbito, o presente trabalho consiste na avaliação experimental do desempenho energético e ambiental de uma salamandra a pellets de 10 kW, desenvolvida por uma empresa nacional. O estudo incluiu ensaios em fase de arranque e em estado estacionário, tendo sido medidas as concentrações de CO, CO₂ e O₂ nos produtos da combustão, entre outras grandezas, que permitiram caracterizar a emissão de poluentes e, no caso dos testes em regime estacionário, determinar o rendimento e potência térmica para cada nível de potência. Os resultados obtidos revelam níveis de emissões altos para potências baixas, sendo que, para a potência máxima, estão razoáveis e com boa relação entre o CO₂ e O₂, devendo-se isto ao facto de o equipamento estar projetado para um melhor desempenho a grandes potências, e como tal, comporta-se bem nas altas potências. A minimização da emissão de produtos da combustão incompleta exige uma melhoria das condições de combustão.

O nível de potência máxima, apresenta o melhor desempenho ambiental com emissões de CO de 113 mg/m³@13%O₂ e um rendimento térmico de 87,6%, seguido do nível de potência P3 com emissões de CO de 160 mg/m³@13%O₂ e rendimento térmico de 91,3%. O nível de potência mínima apresenta o pior comportamento ambiental e energético com emissões de CO de 1911 mg/m³@13%O₂ e um rendimento térmico de 83,1%.

As elevadas emissões de CO que se observaram nos ensaios à potência térmica reduzida, obrigaram à sugestão de alteração dos parâmetros de funcionamento por parte do fabricante, no sentido de cumprir os requisitos impostos pela norma EN 14785:2006.

Palavras-chave: biomassa, pellets de madeira, salamandra, rendimento térmico, emissões gasosas, certificação.

ABSTRACT

The growing demand for residential heating systems using biomass pellets promotes the need for development of more efficient and economically competitive technology. The market for this kind of equipment is already well developed in international markets, especially in Germany, Austria and Italy.

The European standards applied to this type of equipment have already been published and are regularly discussed and updated in vigorous efforts to develop the certification of this equipment. In this context, the present work is the experimental evaluation of the energy and environmental performance of a pellet stove of 10 kW, developed by a Portuguese manufacturer. The study included testing during start-up and steady state, measuring concentrations of CO, CO₂ and O₂ in the exhaust gases, among other quantities, which allowed the characterizing the emissions of pollutants and in the case of steady-state tests, determining the thermal efficiency and output for each power level. The results showed high levels of emissions for lower outputs and, for maximum capacity, a good and reasonable relation between CO₂ and O₂, due to the fact that the equipment was designed for higher outputs and as such, performs well at higher capacity. The minimization of product emissions, due to incomplete combustion, requires improvement in the combustion conditions.

The maximum power level achieves the best environmental performance with CO emissions of 113 mg/m³@13%O₂ and a thermal efficiency of 87,6%, followed by the P3 level with emission of CO of 160 mg/m³@13%O₂ and thermal efficiency of 91,3%. The level P1 obtains the worst environmental performance and efficiency with CO of 1911 mg/m³@13%O₂ and a thermal efficiency of 83,1%.

The high emissions of CO observed at reduced thermal power levels lead to a demand for changing the parameters of functioning on the manufacturer's behalf, in order to make the equipment able to meet the requirements of the standard EN 14785.

Keywords: biomass, wood pellets, stove, thermal efficiency, gas emissions, certification

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE TABELAS	xv
GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xvi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação.....	5
1.2 Objetivos da Tese	6
1.3 Organização da tese	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Regulamentação aplicada	11
2.2 Princípios da Norma EN14785:2006 [6].....	17
3 INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL.....	19
3.1 Configuração da Instalação.....	21
3.2 Trierdro	22
3.3 Balança.....	24
3.4 Chaminé	25
3.5 Sonda do pirômetro de aspiração de gases	26

3.6 Salamandra.....	27
3.6.1 Câmara de combustão	28
3.6.2 Grelha	31
3.6.3 Permutador de calor.....	31
3.6.4 Electrónica	32
4 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS.....	37
4.1 Pesagem de pellets.....	39
4.2 Medição de temperaturas	39
4.3 Análise de gases.....	43
4.3.1 Equipamento para medição de CO, CO ₂ e O ₂	43
4.3.2 Recolha e pré tratamento dos gases de combustão.....	45
4.4 Sistema de aquisição de dados	46
5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	51
5.1 Condições de teste	53
5.2 Caracterização ambiental.....	54
5.3 Caracterização térmica	64
5.4 Temperaturas de segurança.....	68
6 APONTAMENTOS FINAIS.....	71
6.1 Conclusão	73
6.2 Trabalho Futuro	76
REFERÊNCIAS.....	77

ANEXOS.....	81
Anexo A – Norma 14785:2006.....	81
Anexo B – Salamandra “Héstia”	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Taxas de IVA aplicadas aos combustíveis utilizados no setor do aquecimento doméstico e serviços em 2011 [3].....	4
Figura 2.1 – Requisitos de eficiência para caldeiras segundo a norma EN 303-5 [4].....	12
Figura 3.1 – Configuração da instalação experimental.....	22
Figura 3.2 – Instalação experimental.	22
Figura 3.3 – Triedro.	23
Figura 3.4 – Vista em plano da base e das paredes mostrando a posição dos pontos de medição. 24	
Figura 3.5 – Mostrador digital DGT-Q [7].....	25
Figura 3.6 – Detalhes e dimensões da chaminé [7].....	25
Figura 3.7 – Detalhe e dimensões do pirómetro de aspiração [7].	26
Figura 3.8 – Representação esquemática da sonda de amostragem dos gases e respetivas dimensões.	26
Figura 3.9 – Vista da sonda do pirómetro de aspiração montada na chaminé.....	27
Figura 3.10 – Dimensões da salamandra Ecoama.	28
Figura 3.11 – Câmara de combustão.....	28
Figura 3.12 – Resistência elétrica [8].....	29
Figura 3.13 – Entrada de ar primário.	30
Figura 3.14 – Entradas de ar secundário.	30
Figura 3.15 – Queimador.	31
Figura 3.16 – Permutador de calor.	32
Figura 3.17 – Tubos do permutador de calor.	32
Figura 3.18 – Comando eletrónico.....	33
Figura 3.19 – Controlador eletrónico [9].	34
Figura 3.20 – Estrutura do menu.....	35
Figura 4.1 – <i>Efeito Seebeck</i>	40

Figura 4.2 – Termopar tipo K, com bainha.	42
Figura 4.3 – Termopar flexível tipo K.	42
Figura 4.4 – Analisador multi-gás 9000MGA.	43
Figura 4.5 – Esquema do sistema de recolha e análise dos gases.	45
Figura 4.6 – Sistema de recolha e análise de gases.	46
Figura 4.7 – Esquema dos componentes do sistema de aquisição de dados.	46
Figura 4.8 – Sistema de aquisição de dados <i>SCXI</i>	47
Figura 4.9 – Forma de ligar os termopares ao bloco de terminais SCXI-1303.	49
Figura 4.10 – Painel frontal da aplicação desenvolvida em <i>Labview</i>	50
Figura 5.1 – Localização dos quatro pontos do triedro com temperaturas mais elevadas.	69
Figura A.1 – Exemplo de informação contida na marcação CE [7].	83
Figura A.2 – Requisitos relativos à incerteza dos parâmetros a medir.	84
Figura A.3 – Especificações do combustível de ensaio.	84
Figura B.1 – Características técnicas.	87
Figura B.2 – Etiqueta de certificação.	88

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P1.....	55
Gráfico 5.2 – Evolução da concentração de CO, CO ₂ e O ₂ durante o ensaio à P1.....	55
Gráfico 5.3 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P2.....	56
Gráfico 5.4 – Evolução da concentração de CO, CO ₂ e O ₂ durante o ensaio à P2.....	57
Gráfico 5.5 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P3.....	57
Gráfico 5.6 – Evolução da concentração de CO, CO ₂ e O ₂ durante o ensaio à P3.....	58
Gráfico 5.7 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P4.....	59
Gráfico 5.8 – Evolução da concentração de CO, CO ₂ e O ₂ durante o ensaio à P4.....	59
Gráfico 5.9 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P5.....	60
Gráfico 5.10 – Evolução da concentração de CO, CO ₂ e O ₂ durante o ensaio à P5.....	61
Gráfico 5.11 – Comparação da concentração de CO, CO ₂ , O ₂ registada para os diferentes níveis de potência.....	63
Gráfico 5.12 – Rendimento e potência dos cinco níveis de funcionamento.....	68
Gráfico 5.13 – Temperaturas mais elevadas registadas na base do triedro.	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Normas europeias aplicadas a equipamentos que utilizam biomassa.	11
Tabela 2.2 – Limite de emissões segundo norma EN 303-5 [4].	13
Tabela 2.3 – Propostas futuras para limites de emissões segundo EN 303-5.	14
Tabela 2.4 – Requisitos de eficiência e limite de emissões de CO [4]	14
Tabela 2.5 – Futuro dos requisitos de emissões limite para caldeiras segundo a primeira <i>BlmSchV</i> [4].	15
Tabela 2.6 – Futuro dos requisitos de emissões e eficiência para <i>stoves</i> segundo a primeira <i>BlmSchV</i> [4].	16
Tabela 2.7 – Requisitos <i>Blue Angel</i> [4].	16
Tabela 2.8 – Limites de emissão de CO e rendimento imposto pela Norma EN14785.	18
Tabela 3.1 – Mensagens de alarme [10].	36
Tabela 4.1 – Classificação dos termopares [12].	41
Tabela 4.2 – Característica de alguns tipos de termopares [13].	41
Tabela 4.3 – Características técnicas do analisador 9000MGA da <i>Signal Instruments</i> [14].	44
Tabela 4.4 – Concentrações dos gases de calibração.	44
Tabela 5.1 – Propriedades dos pellets utilizados nos ensaios.	53
Tabela 5.2 – Concentração gasosa de CO, CO ₂ , O ₂ registada durante ensaio em fase de arranque.	62
Tabela 5.3 – Concentração gasosa de CO, CO ₂ , O ₂ registada durante ensaio em condições estáveis.	62
Tabela 5.4 – Comparação entre resultados experimentais e valores limite impostos pela norma.	63
Tabela 5.5 – Caudais mássicos de combustível e produtos da combustão.	64
Tabela 5.6 – Valores das perdas, rendimento e potência registados durante os ensaios realizados para cada um dos cinco níveis de potência.	67

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Símbolos Romanos	Definição	Unidade
b	Quantidade de constituintes combustíveis no resíduo que passa através da grelha	(% de massa)
C	Conteúdo de carbono do combustível	(% de massa)
CO	Teor de monóxido de carbono nos gases secos de exaustão	(% de volume)
CO_2	Teor de dióxido de carbono nos gases secos de exaustão	(% de volume)
C_p	Calor específico da água	(kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
C_r	Conteúdo em carbono no resíduo que passa através da grelha, referido à quantidade de combustível de ensaio queimado (Aproximadamente $C_r = R \times b/100$)	(% de massa)
C_{pmd}	Capacidade calorífica dos gases secos nas condições de referência, em função da temperatura e da composição dos gases.	(kJ.K ⁻¹ .m ³)
C_{pmH_2O}	Capacidade calorífica do vapor de água nas condições de referência, em função da temperatura	(kJ.K ⁻¹ .m ³)
H	Teor de hidrogénio no combustível de ensaio	(% de massa)
H_u	Poder calorífico inferior do combustível de ensaio	(kJ.kg ⁻¹)
\dot{m}_{comb}	Caudal mássico de combustível de ensaio	(kg.h ⁻¹)
\dot{m}	Caudal mássico de produtos da combustão	(g.s ⁻¹)
O_2	Teor de oxigénio nos gases secos de exaustão	(% de volume)
P	Potência térmica	(kW)
Q_s	Perdas térmicas nos gases de exaustão, em relação à massa do combustível de ensaio	(kJ.kg ⁻¹)
Q_b	Perdas térmicas de ordem química nos gases de exaustão, em relação à massa do combustível de ensaio	(kJ.kg ⁻¹)
Q_r	Perdas térmicas pelos constituintes do combustível não queimado que passa através da grelha, em relação à massa do combustível de ensaio	(kJ.kg ⁻¹)

q_a	Percentagem das perdas térmicas nos gases de exaustão, Q_a , em relação ao poder calorífico do combustível	(%)
q_b	Percentagem das perdas térmicas de ordem química nos gases de exaustão, Q_b , em relação ao poder calorífico do combustível	(%)
q_r	Percentagem das perdas térmicas pelos constituintes do combustível não queimado que passa através da grelha, Q_r , em relação ao poder calorífico do combustível	(%)
R	Resíduo que passa através da grelha em relação à massa de combustível de ensaio queimado	(% de massa)
T_{amb}	Temperatura ambiente do laboratório	(°C)
T_{gases}	Temperatura dos gases de exaustão	(°C)
W	Teor de humidade do combustível de ensaio	(% de massa)

Símbolos Gregos

	Definição	Unidade
η	Rendimento térmico	(% com base no PCI)

Abreviaturas

FER	Fontes de Energia Renováveis
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IVA	Imposto sobre o Valor Acrescentado
OGC	<i>Organic Gaseous Carbon</i>
PCI	Poder Calorífico Inferior
UE	União Europeia

1. INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Na Europa, o sector dos edifícios é responsável por mais de 40% do consumo total de energia final. Em Portugal, este valor, sendo inferior, resulta essencialmente de um menor grau de conforto habitacional, pelo que é expectável que o peso dos edifícios no consumo energético aumente.

No atual contexto energético mundial, a União Europeia (UE) tem vindo a dedicar crescente atenção aos desafios colocados no setor energético nas últimas décadas. São notáveis os esforços desenvolvidos no âmbito das políticas comunitárias, procurando dar prioridade ao incentivo e desenvolvimento das Fontes de Energia Renováveis (FER) e à promoção da eficiência energética, possibilitando a redução da dependência de combustíveis fósseis bem como a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE).

Em Dezembro de 2008 foi aprovado pela UE o Pacote “Energia-Clima” (ou Pacote “20-20-20”), que constitui um extenso pacote de medidas que visa lançar um conjunto de políticas no domínio do clima e da energia, interligando uma série de exigências climáticas e de energia a serem cumpridas até 2020 para combater as alterações climáticas. Foram propostas como medidas, nomeadamente:

- Redução das emissões de gases com efeito de estufa na UE, num mínimo de 20% abaixo dos níveis de 1990;
- Aumento do contributo de energias renováveis para 20% no consumo de energia final total da UE;
- Redução de 20% no consumo de energia primária por comparação com os níveis previstos, a ser alcançado mediante um aumento da eficiência energética.

Na negociação da adoção da Diretiva 2009/28/CE relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis, Portugal estabeleceu o compromisso de atingir uma meta de 31% do consumo total de energia proveniente de fontes renováveis no consumo bruto de energia final até 2020 [1]. Portugal tem vindo a aumentar a sua produção de energia com origem em FER, representando em 2008, cerca de 23,2% da procura bruta de energia final.

Neste âmbito, surge a utilização da biomassa, com um forte potencial contributo para a diminuição da importação de energia e libertação de emissões de GEE. Vai ao encontro do publicado no documento “*The share of renewable energy in EU*” [2], que indica que um dos objetivos a atingir a nível da União Europeia é o melhor aproveitamento da biomassa, o qual tem sido descurado face às restantes energias renováveis.

O aquecimento e arrefecimento, sobretudo no setor doméstico e de serviços, representam cargas de energia significativa em todo o mundo, com um elevado nível associado de emissões de carbono. Uma análise à atual estrutura de mercado dos sistemas de aquecimento mostra o crescente interesse e penetração da biomassa como fonte de energia para produção de calor, despertando um mercado emergente baseado na utilização de equipamentos a pellets para aquecimento ambiente. Podem ser divididos em duas vertentes: sistemas de aquecimento centralizado ou sistemas de aquecimento localizado, como o caso de fogões e estufas.

A nível nacional verificam-se alguns avanços na utilização desta fonte de energia, principalmente no aquecimento doméstico, apesar de ser utilizada com uma baixa eficiência energética. Entre as causas que contribuem para a fraca penetração no nosso mercado encontram-se os escassos incentivos fiscais para a sua implementação no mercado interno, tal como o elevado imposto sobre o valor acrescentado, IVA, aplicado atualmente aos biocombustíveis sólidos. A figura 1.1 revela que nalguns países da UE existe uma tendência para a penalização do uso de combustíveis fósseis no setor do aquecimento doméstico e serviços, a favor do uso da biomassa. No entanto, em Portugal, a realidade é completamente oposta.



Figura 1.1 – Taxas de IVA aplicadas aos combustíveis utilizados no setor do aquecimento doméstico e serviços em 2011 [3].

De notar que em Portugal só muito recentemente, Setembro de 2011, a taxa de IVA sofreu a alteração de 6% para 23%.

Na figura 1.1, a taxa de IVA aplicada ao gasóleo de aquecimento não inclui a taxa do imposto sobre os produtos petrolíferos.

Apesar do preço dos pellets ser ainda modesto, entre os 120 e 190 €/ton, o custo dos equipamentos de queima é muito elevado.

O mercado dos equipamentos a pellets representa uma solução de baixo impacto ambiental, fruto das eficientes tecnologias desenvolvidas nos mercados internacionais, com especial incidência na Alemanha, Áustria e Itália. Em Portugal, é ainda uma tecnologia que começa a dar os primeiros passos por parte da indústria metalomecânica.

Este mercado emergente de equipamentos a biomassa despertou, junto dos estados membros, a consciencialização para a necessidade de criar regulamentação, como base para promover gradualmente a utilização de sistemas a biomassa mais eficientes e atingir os objetivos a que se comprometeram.

Esta situação leva a que normas europeias que já foram publicadas sejam regularmente discutidas e atualizadas no sentido de desenvolver vigorosos esforços na certificação destes equipamentos. Estas normas estabelecem requisitos relativos à conceção, ao fabrico, à segurança, ao desempenho (rendimento e emissões), às instruções e à marcação, assim como aos métodos de ensaio e aos combustíveis a utilizar. Para além disso, permite ao comprador ter dados técnicos acrescidos e objetivos para optar pela melhor escolha, fazendo-a assente em resultados de entidades europeias idóneas que realizam testes com princípios idênticos para todos os produtos, independentemente do país onde se realizem.

1.1 Motivação

O mercado deste tipo de equipamentos, normalmente designado de estufas ou salamandras, que utilizam pellets, está a crescer em Portugal. Verifica-se que a comercialização destes equipamentos está essencialmente baseada na importação dos mercados internacionais com tecnologia mais bem desenvolvida. Isto abre uma ampla possibilidade de desenvolvimento e comercialização no mercado nacional.

No entanto, a indústria metalomecânica nacional está já a iniciar a fabricação destes equipamentos, necessitando de competências e mecanismos apropriados que permitam o

aperfeiçoamento e certificação dos produtos já existentes, bem como a criação de novos produtos procurando atrair mais clientes. A criação de uma unidade de ensaio nas instalações do Laboratório de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho, poderá vir a ter uma relação promissora de colaboração no desenvolvimento destes equipamentos por parte da indústria metalomecânica nacional, com vista ao aumento da competitividade neste setor.

Sendo o setor metalúrgico um setor fortemente enraizado em Portugal e com um elevado contributo no peso das exportações da balança comercial, uma forte aposta no desenvolvimento deste segmento de produto poderá permitir uma forte afirmação, quer no mercado nacional quer no internacional.

1.2 Objetivos da Tese

Este projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma instalação de ensaio de equipamentos domésticos para aquecimento ambiente que sirva de apoio à indústria deste setor de aparelhos, com vista ao seu ensaio e caracterização térmica e ambiental. De modo a atingir este fim propôs-se a preparação e monitorização da instalação experimental de acordo com a Norma aplicada EN 14785:2006, que detalha as metodologias e instrumentos de ensaio a utilizar. O equipamento de ensaio utilizado foi uma salamandra a pellets de 10 kW produzida por uma empresa nacional. Os ensaios experimentais, estabelecidos de acordo com a metodologia de análise definida na norma, permitirão obter um conjunto de dados, nomeadamente, consumo de pellets, temperaturas (ambiente e dos gases de exaustão) e composição dos gases de exaustão, para posterior caracterização do desempenho energético e ambiental do equipamento na fase de arranque e em regime estacionário. Para isso, será utilizado um sistema de aquisição de dados para monitorização das seguintes variáveis no decorrer dos ensaios: massa medida na balança, variações das temperaturas dos termopares e valores medidos de CO, CO₂ e O₂ no analisador de gases. O método de ensaio permitirá ainda a contabilização da contribuição de cada uma das perdas energéticas, nomeadamente perdas térmicas e termoquímicas, pelos gases de exaustão, e perdas por não queimados nos resíduos que passam através da grelha.

Com base na análise dos ensaios experimentais obtidos, serão tecidas conclusões acerca do comportamento ambiental e energético do equipamento, tais como, a verificação ou não da conformidade do equipamento com os requisitos impostos pela norma.

1.3 Organização da tese

O presente capítulo é de carácter introdutório, de modo a enquadrar o tema da tese na realidade social e económica atual. São abordados temas como: o enquadramento energético europeu e políticas comunitárias de promoção da utilização da biomassa, motivação da tese, e enumeração dos objetivos, terminando com a descrição da organização da tese.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica sobre temas considerados relevantes para o suporte na realização do trabalho. É efetuada uma revisão das normas aplicadas a equipamentos que utilizam a biomassa como fonte de combustível e, num outro subcapítulo, descritos os princípios subjacentes à norma EN 14785:2006 que serve de suporte à realização do presente projeto.

A título de exemplo, é apresentada a legislação atual e propostas futuras de requisitos ambientais e energéticos na Alemanha, um dos países com legislação mais apertada para certificação de equipamentos a biomassa.

No terceiro capítulo descreve-se em pormenor a instalação experimental utilizada, começando pela apresentação da sua configuração e posterior descrição dos equipamentos que fazem parte integrante da mesma.

Segue-se o quarto capítulo, dedicado às técnicas experimentais, onde se inclui a fundamentação teórica em que se baseiam esses equipamentos e uma análise de incertezas.

No capítulo cinco são apresentados os resultados experimentais obtidos. É estudado e caracterizado o comportamento energético e ambiental da salamandra para os vários níveis de potência, nas fases de arranque e em estado estacionário.

Por fim, termina-se com as principais conclusões resultantes do desenvolvimento deste projeto e sugestões de trabalho futuro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O uso intensivo da biomassa como combustível para aquecimento em áreas residenciais pode levar a uma diminuição da qualidade do ar e consequentes riscos para a saúde se os equipamentos forem utilizados de forma inadequada ou mal conservados. Surge assim a necessidade de criar legislação para proteger a população de gases e partículas nocivas para a sua saúde, assim como de encorajar os fabricantes a otimizar os seus produtos de modo a minimizar as emissões de poluentes.

2.1 Regulamentação aplicada

Na tabela 2.1 são listadas as normas europeias aplicadas a equipamentos que utilizam biomassa como fonte de combustível. Estas normas estabelecem requisitos relativos à conceção, ao fabrico, à segurança, ao desempenho (rendimento e emissões), às instruções e à marcação, assim como, aos métodos de ensaio e combustíveis utilizados. Os requisitos de desempenho incluem um mínimo de eficiência térmica, bem como limites máximos de emissões de CO e, opcionalmente, de carbono orgânico gasoso (OGC) e partículas.

Tabela 2.1 – Normas europeias aplicadas a equipamentos que utilizam biomassa.

	Norma	Aplicação
Boiler	EN 303-5	<i>Heating boilers for solid fuels, hand and automatically stoked, nominal heat output of up to 300 kW - Terminology, requirements, testing and marking</i>
	EN 12809	<i>Residential independent boilers fired by solid fuel - Nominal heat output up to 50 kW - Requirements and test methods</i>
Stove	EN 12815	<i>Residential cookers fired by solid fuel - Requirements and test methods</i>
	EN 13229	<i>Inset appliances including open fires fired by solid fuels - Requirements and test methods</i>
	EN 13240	<i>Room-heaters fired by solid fuel – Requirements and test methods</i>
	EN 14785	<i>Residential space heating appliances fired by wood pellets - Requirements and test methods</i>
	EN 15250	<i>Slow heat release appliances fired by solid fuel - Requirements and test methods</i>

Estas normas consideram diferentes níveis de desempenho dos aparelhos fabricados na Europa e, ao mesmo tempo, encoraja todos os países a melhorarem as suas tecnologias, independentemente de ser um país líder ou ficar para trás na tecnologia de combustão. Para abraçar todas as fases da tecnologia na União Europeia, diferentes classes de emissões e rendimento são definidas para caldeiras na norma EN 303-5.

A figura 2.1 mostra os requisitos de eficiência para caldeiras segundo a norma EN 303-5 (classes 1-3 estão atualmente em prática e as classes 3-5 estão em discussão) e os requisitos de eficiência para atribuição do rótulo ecológico na Áustria, Alemanha e países Escandinavos. Na revisão da EN 303-5, que está atualmente em discussão, classes mais rigorosas (classe 3-5) serão introduzidas, sendo uma importante força motriz para a evolução da tecnologia. Os valores de eficiência apresentados na figura 2.1 são determinados com base no poder calorífico superior do combustível utilizado.

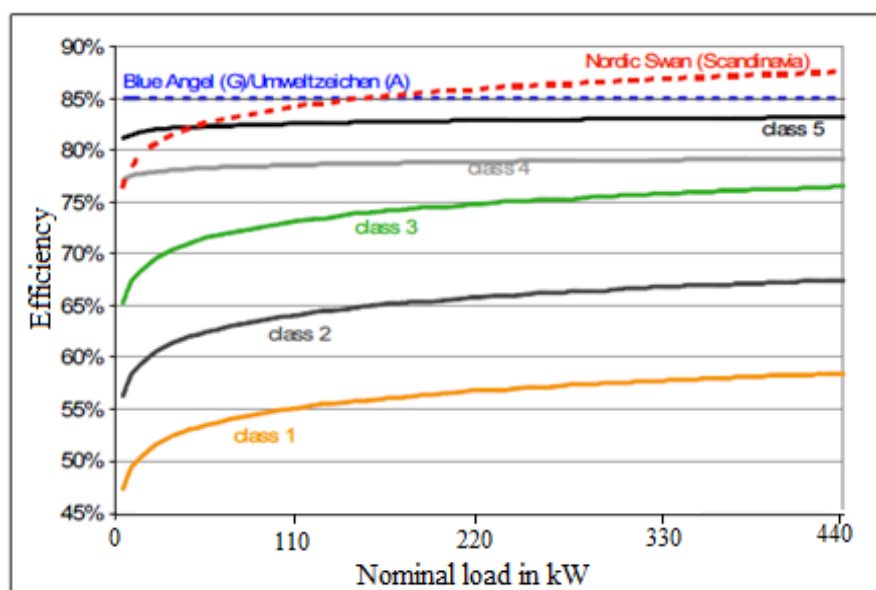


Figura 2.1 – Requisitos de eficiência para caldeiras segundo a norma EN 303-5 [4].

Além da EN 303-5, regulamentações nacionais e rótulos ecológicos podem solicitar eficiências ainda maiores e menores emissões. O Ministério Alemão da Economia e da Tecnologia apresenta recomendações importantes para o cliente que pretende instalar um sistema a pellets. Se o equipamento não atingir os valores indicados, nenhum subsídio é dado pelo Governo alemão. Para caldeiras com alimentação automática de pellets, o incentivo base é de 1000 euros e aumenta em 24 euros por cada kW de potência térmica acima dos 40 kW [5].

Na tabela 2.2, a norma EN 303-5 define, para as três classes, os valores limites de emissões de CO, OGC e partículas aplicáveis atualmente a nível europeu. A referida norma abrange caldeiras até uma potência nominal de 300 kW.

Tabela 2.2 – Limite de emissões segundo norma EN 303-5 [4].

Potência térmica nominal (kW)		Emissões limite para 12% O ₂								
		CO (mg/m ³)			OGC (mg/m ³)			Partículas (mg/m ³)		
		Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Manual	≤ 50	20455	6545	4090	1635	245	120	165	145	125
	50 - 150	10227	4090	2045	1230	165	80	165	145	125
	150 - 300	10277	1635	980	1230	165	80	165	145	125
Automático	≤ 50	12270	4090	2455	1430	165	80	165	145	125
	50 - 150	10230	3680	2045	1020	120	65	165	145	125
	150 - 300	10230	1635	980	1020	120	65	165	145	125

A revisão da EN 303-5 está em andamento e novas classes de emissão (classe 4 e 5) estão a ser discutidas. A evolução futura dos requisitos de certificação aponta para a exigência de rendimentos cada vez mais elevados e limites de emissões inferiores. A situação real da discussão é apresentada na tabela 2.3. Além de níveis mais baixos de emissões, a futura norma será válida para potências mais elevadas, até 500 kW.

Tabela 2.3 – Propostas futuras para limites de emissões segundo EN 303-5.

Potência térmica nominal (kW)		Emissões limite para 12% O ₂								
		CO (mg/m ³)			OGC (mg/m ³)			Partículas (mg/m ³)		
		Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe	Classe
		3	4	5	3	4	5	3	4	5
Manual	≤ 50	4090	820	410	125	60	40	125	60	50
	50 - 150	2045	615	245	80	40	25	125	60	50
	150 - 300	980	410	205	80	10	10	125	60	50
	300 - 500	980	410	205	80	10	10	125	60	50
Automático	≤ 50	2455	820	410	80	60	40	125	60	50
	50 - 150	2045	615	245	65	60	40	125	60	50
	150 - 300	980	410	205	65	40	20	125	60	50
	300 - 500	980	410	205	65	40	20	125	60	50

Na tabela 2.4 são apresentados os requisitos mínimos de eficiência e limites de emissões impostos pelas normas para fogões. Esta tabela mostra a ampla gama de limites de emissões e exigências de rendimento para os diversos tipos de equipamentos de aquecimento ambiente.

Tabela 2.4 – Requisitos de eficiência e limite de emissões de CO [4] .

	Norma	Rendimento mínimo (%)	CO limite para 13% de O ₂ (mg/m ³)
Fogões	EN 12815	55	14000
	EN 13229	Classe 1: ≥ 70 Classe 2: ≥ 60 < 70 Classe 3: ≥ 50 < 60 Classe 4: ≥ 30 < 50	Classe 1: ≤ 3750 Classe 2: > 3750 ≤ 12500
	EN 13240	Classe 1: 60 Classe 2: 55 Classe 3: 45	Classe 1: 420 Classe 2: 1410
	EN 14785	Potência nominal: ≥ 75 Potência reduzida: ≥ 70	Potência nominal: ≤ 500 Potência reduzida: ≤ 700
	EN 15250	≥ 70	≤ 3750

Todos os Estados membros da UE estão autorizados a introduzir requisitos mais rigorosos e adicionais aos previstos nas normas apresentadas anteriormente.

De seguida, é apresentada a situação legislativa da Alemanha, um dos países com requisitos energéticos e ambientais mais apertados.

Na Alemanha, o regulamento federal de emissões *BImSchV (Bundes imissões Schutz Verordnung fuer Kleinf Feuerungsanlagen)* regula as emissões para instalações de pequena escala. Foi implementado em 1988 e, desde então, foi revisto duas vezes (em 1997 e 2003), passando atualmente por uma terceira revisão. Na tabela 2.5 são apresentados os futuros requisitos para caldeiras, resultantes das recentes discussões para a nova regulamentação a entrar em vigor a partir de 2014.

Tabela 2.5 – Futuro dos requisitos de emissões limite para caldeiras segundo a primeira *BImSchV* [4].

Fuel	Installation built after 1 st BImSchV came into force			Installations built after 2014		
	Nominal heat load (kW)	E-limits in mg/m ³ at 12% O ₂		Nominal heat load (kW)	E-limits in mg/m ³ at 12% O ₂	
		CO	dust		CO	dust
Non treated Wood ¹⁾	4 - 500	1125	115	≥ 4	450	25
	> 500	565	115			
Pellets ²⁾	4 - 500	900	70			
	> 500	565	70			
Coal	5 - 500	1125	100			
	> 500	565	100			
Pre treated Wood ³⁾	50 - 100	900	115	50 - 500	450	25
	100 - 500	565	115	> 500	340	25
	> 500	340	115			
Straw	4 - 100	1125	115	4 - 100	450	25

¹⁾ Non-treated wood (pieces, shavings), straw or other plant products – wood chips assumed for dust emissions

²⁾ Pressed untreated wood (briquettes, pellets, etc.)

³⁾ Painted, plywood, chipboards, fibre boards

Da mesma forma, para *stoves*, estão em discussão limites de emissões mais baixos a entrar em vigor para instalações construídas a partir do ano 2014.

Tabela 2.6 – Futuro dos requisitos de emissões e eficiência para *stoves* segundo a primeira *BImSchV* [4].

Type of appliance	Standard	Installation built after 1 st BImSchV came into force			Installations built after 2014	
		Efficiency (%)	E-limits in mg/m ³ at 12% O ₂		Emission in mg/m ³ limits at 12% O ₂	
			CO	dust	CO	dust
Room heater (intermittent operation)	EN 13240	65	2250	115	1405	45
Room heater (continuous operation)		60	2810	115	1405	45
Slow heat release appliances	EN 15250	65	2250	115	1405	45
Slow heat release inset	EN 13229	70	2815	115	1405	45
Cookers	EN 12815	60	3375	115	1690	45
Cookers (with room heater function)		65	3940	115	1690	45
Pellet stove	EN 14785	80	450	55	280	35
Pellets stove with boiler		85	450	35	280	25

Na Alemanha, para distinguir os aparelhos com melhores desempenhos energético e ambiental, foi criada uma etiqueta ambiental designada “*Blue Angel*” (ver tabela 2.7). Estabelece elevados requisitos de eficiência mínima e baixos limites máximos de emissões para os níveis de potência térmica nominal e reduzida. Para além do limite de emissões de monóxido de carbono e partículas, também impõe limites máximos de emissões de óxidos de nitrogénio.

Tabela 2.7 – Requisitos *Blue Angel* [4].

Aplicação	Rendimento (%)	Emissões limite em mg/m ³ para 12% O ₂ , para potência térmica nominal e parcial		
		CO	NO _x	Partículas
Pellet Stove	≥ 85	200/450	170/ -	30/ -
Pellet Boiler		100/225	170/ -	25/ -

2.2 Princípios da Norma EN14785:2006 [6]

Atualmente, os aparelhos domésticos para aquecimento ambiente que utilizem granulado de madeira são sujeitos ao cumprimento de requisitos de projeto, fabrico, segurança e emissões impostas pela norma EN 14785, aprovada pelo *European Committee for Standardization* (CEN) em 2006.

O princípio da norma é baseado na utilização de uma balança, em cima da qual está montada uma plataforma, constituída pelo aparelho instalado num triedro, permitindo medir o consumo de combustível em conformidade com os requisitos de precisão especificados pela norma. Na chaminé de evacuação dos gases foi prevista uma secção de medição que permite a sua instrumentação para posterior determinação da temperatura e composição dos gases de exaustão.

A norma estabelece requisitos energéticos e ambientais do aparelho para os níveis de potência térmica nominal e reduzida. O ensaio de determinação do desempenho é constituído por duas fases, uma inicial de acendimento e colocação em regime (fase de arranque), e a fase de ensaio em condições estacionárias. O acendimento e colocação em regime termina quando se observarem condições estáveis, isto é, quando, durante pelo menos 30 minutos, a temperatura dos produtos da combustão não variar mais do que 5°C. Nesse momento, regista-se a massa total da instalação de ensaio indicada na balança. Se necessário, recarregar o aparelho com combustível de ensaio suficiente para o período de ensaio. A norma impõe a medição e registo da composição e temperatura dos gases e ambiente, ou em contínuo ou em intervalos regulares inferiores a 1 minuto. No final do período de ensaio, voltar a registar o valor lido na balança. Segundo recomendações da norma o ensaio à potência térmica reduzida deverá ter uma duração mínima de pelo menos 6h, e o ensaio à potência térmica nominal de 3h.

Após a conclusão do ensaio e analisados os resultados, permitirá a caracterização ambiental e energética do equipamento, verificando se está em conformidade ou não, com a norma. No Anexo A – Figura A.1 é ilustrado o exemplo apresentado na norma de uma etiqueta de certificação.

O valor da potência deve ser calculado a partir da média de, pelo menos, dois resultados válidos e distintos. Para que seja válido não deve afastar-se do valor médio mais do que 10%.

Na tabela 2.8 são apresentados os valores mínimos de rendimento térmico e limite máximo de emissão de monóxido de carbono, calculada com base em 13% de oxigénio. Estes valores são impostos pela norma para o nível de potência térmica reduzida e nominal.

Tabela 2.8 – Limites de emissão de CO e rendimento imposto pela Norma EN14785.

Norma EN 14785	Emissão máxima de CO (mg/m ³ @13%O ₂)	Rendimento térmico mínimo (%)
Potência reduzida	700	70
Potência nominal	500	75

3. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

3 INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

Neste capítulo será descrita a instalação experimental construída, bem como todas as tarefas conducentes à sua construção. Em primeiro lugar, será apresentada a configuração da instalação, e seguidamente, em mais detalhe, os equipamentos que a compõe. Para isso, optou-se por organizar a instalação em seis grupos: triedro; balança, chaminé, sonda do pirómetro de aspiração de gases, sistema de análise de gases e salamandra (câmara de combustão, grelha, permutador de calor e eletrónica)

3.1 Configuração da Instalação

A construção da instalação experimental bem como a realização dos ensaios experimentais desenvolveram-se no Laboratório de Fluidos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho. Na figura 3.1 é apresentada a configuração da instalação onde constam os seguintes elementos:

- Triedro (1)
- Balança (2)
- Chaminé (3)
- Sonda do pirómetro de aspiração de gases (4)
- Sistema de análise de gases (5)
- Salamandra (6)

Relativamente ao sistema de análise de gases, este será descrito em pormenor no capítulo seguinte. A figura 3.2 mostra uma fotografia da instalação experimental.

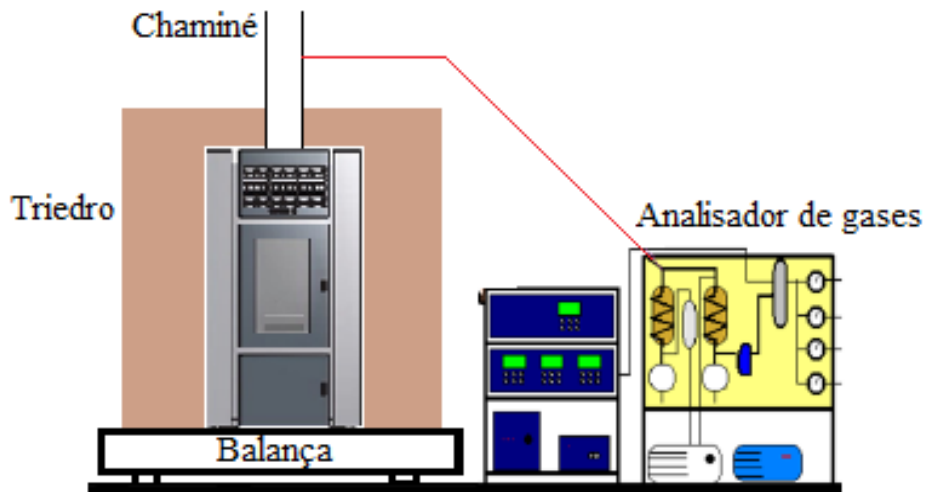


Figura 3.1 – Configuração da instalação experimental.



Figura 3.2 – Instalação experimental.

3.2 Triedro

O triedro é constituído por uma base (na qual assenta a salamandra), uma parede lateral e uma parede posterior, perpendiculares umas em relação às outras (ver figura 3.3). A sua construção obedece aos requisitos apresentados na Norma 14785:2006.



Figura 3.3 – Triedro.

Esta construção é utilizada na presente atividade experimental com o objetivo de servir de suporte à identificação das zonas mais quentes. A quantificação das temperaturas máximas atingidas nas paredes permite avaliar distâncias de segurança e cuidados a ter na instalação deste tipo de equipamentos.

No que diz respeito às características das paredes estas apresentam uma espessura total de 65 mm. São constituídas por dois materiais (ver figura 3.3): placa de contraplacado com 25 mm de espessura e placa de *wallmate* (material isolante), com condutividade térmica próxima de 0,04 W/m.K. Tal como especificado pela norma, as dimensões das paredes estendem-se lateralmente além das superfícies exteriores do equipamento pelo menos 150 mm, e verticalmente pelo menos 300 mm acima da superfície mais alta do equipamento.

Nas paredes foram efetuados furos com 2,5 mm de diâmetro que possibilitaram a introdução de termopares para criar pontos de medida da temperatura. A disposição desses furos é normalizada de acordo com a figura 3.4.

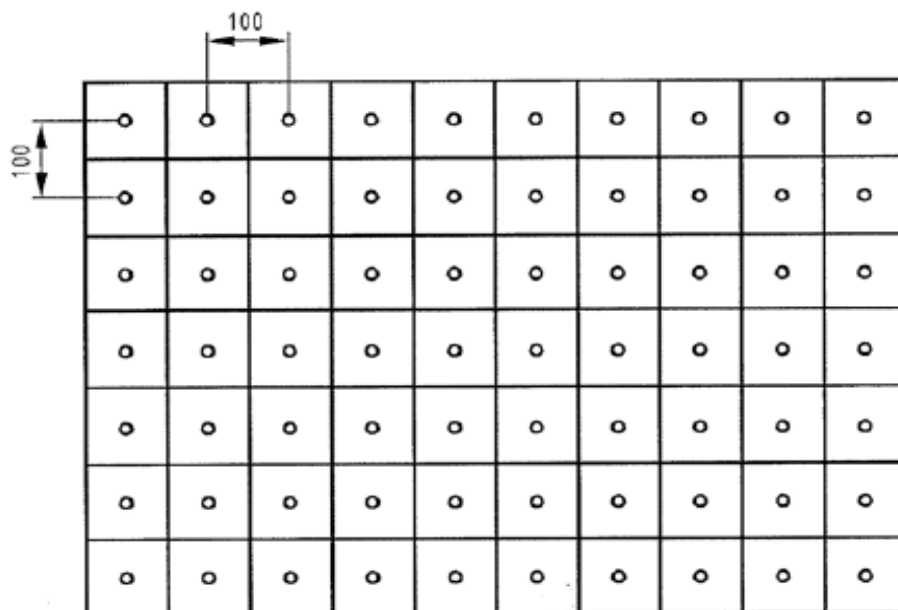


Figura 3.4 – Vista em plano da base e das paredes mostrando a posição dos pontos de medição.

3.3 Balança

A balança é o elemento sobre o qual está colocada toda a plataforma de ensaio. Para a pesagem dos pellets foi usada uma balança da marca DiniArgeo. A balança é apoiada em células de carga, que se baseiam na variação da resistência de um sensor denominado extensômetro quando submetido a uma deformação. Um extensômetro não é mais que um filamento condutor elétrico que, ao ser deformado dentro dos seus limites de elasticidade, vê a sua resistência elétrica variar.

O sistema usado dispõe de quatro apoios assentes no pavimento, cada um com uma célula de carga. Estes quatro extensômetros estão ligados entre si segundo a *Ponte de Wheatstone*. O desequilíbrio da mesma, em virtude da deformação dos extensômetros, pode ser relacionado com a amplitude da força que provocou a deformação. É através da medição deste desequilíbrio que se obtém com precisão o valor da força aplicada. Por sua vez a força, está relacionada com a massa.

A plataforma da balança é conectada a um mostrador digital, modelo DGT-Q (ver figura 3.5), para leitura direta da massa através de um *display*.

Este mostrador tem a função, não só de fazer a conversão de sinais provenientes das células de carga, mas também fazer a alimentação das mesmas células. O erro do mostrador é cerca de +/- 50 g, pois o mostrador arredonda o valor da massa às décimas de kg.



Figura 3.5 – Mostrador digital DGT-Q [7].

3.4 Chaminé

Para exaustão dos gases de combustão foi construída uma chaminé com 100 mm de diâmetro. A chaminé é constituída por três troços com requisitos normativos distintos (ver figura 3.6). A conduta de ligação que faz a ligação entre a gola de evacuação do aparelho e o adaptador curvo não possui requisitos de isolamento, já o adaptador e secção de medição foram completamente isolados com lã de rocha de espessura nominal 40 mm.

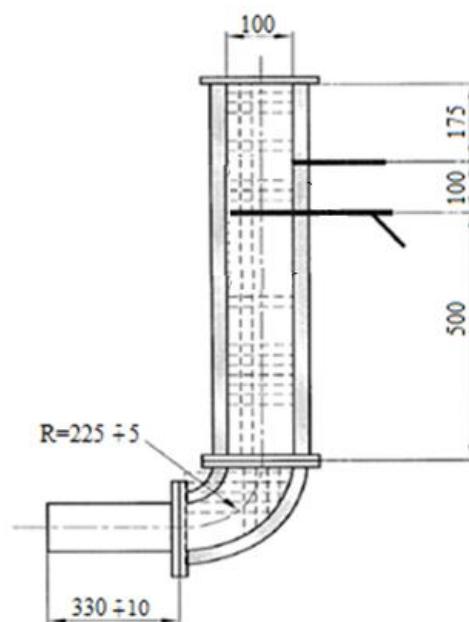


Figura 3.6 – Detalhes e dimensões da chaminé [7].

A secção de medição foi equipada com os meios necessários para a determinação da temperatura e amostragem do efluente gasoso para a medição das concentrações das espécies químicas gasosas nos fumos. Para tal, foi usado um termopar, colocado numa sonda de pirómetro

de aspiração como ilustrado na figura 3.7. A sonda foi colocada a 500 mm da entrada da secção de medição.

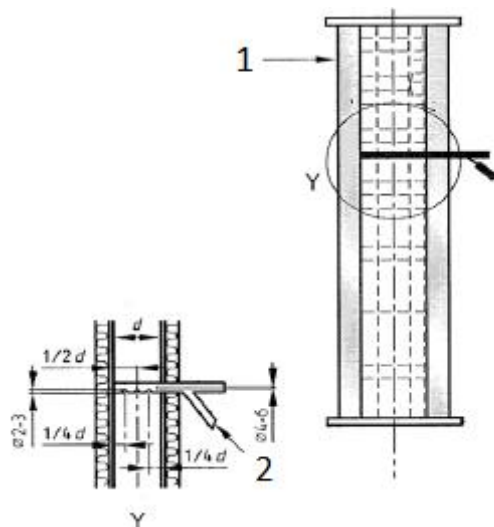


Figura 3.7 – Detalhe e dimensões do pirómetro de aspiração [7].

3.5 Sonda do pirómetro de aspiração de gases

A figura 3.8 é uma representação esquemática da sonda construída, onde as principais dimensões são indicadas. A sonda possui 3 orifícios de amostragem, cada um com 2,5 mm de diâmetro. Um deles posicionado no centro da secção de medição e os outros dois posicionados para cada um dos lados, a uma distância correspondente a $1/4$ do diâmetro da conduta. O diâmetro interior do pirómetro de aspiração é de 5 mm.

Na figura 3.8 está ainda representado o termopar no interior do pirómetro para medição da temperatura dos gases de exaustão durante os ensaios.

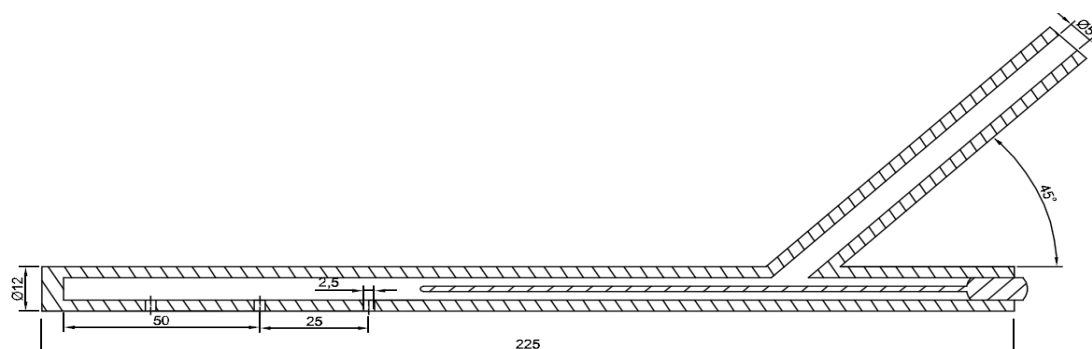


Figura 3.8 – Representação esquemática da sonda de amostragem dos gases e respetivas dimensões.

A sonda do pirómetro de aspiração é fixa à conduta por meio de acessórios roscados que garantem a sua estanquicidade (ver figura 3.9). Na sua extremidade foi conectado um sistema de análise de gases que será abordado em pormenor no subcapítulo 4.3.



Figura 3.9 – Vista da sonda do pirómetro de aspiração montada na chaminé.

3.6 Salamandra

O equipamento de ensaio utilizado é uma salamandra de 10 kW, da marca Ecoama modelo Héstia, que foi gentilmente cedida pelo fabricante nacional Manufatura Santos,S.A.. No Anexo B - Figura B.1 e Figura B.2, são apresentadas as características técnicas declaradas pelo fabricante e etiqueta de certificação do equipamento, respetivamente. Trata-se de um equipamento projetado para queimar somente pellets, pelo que está sujeito ao cumprimento dos requisitos da norma de certificação EN 14785:2006. Possui um sistema de programação independente, um sistema de segurança, um sistema de ignição automática e um depósito de pellets interno. Foi projetada para aquecer o ar ambiente por radiação e convecção forçada de ar quente pela grelha frontal. Apresenta as seguintes características: 930 mm de altura, 478 mm de largura e 471 mm de profundidade (ver figura 3.10), 105 kg de massa e 240 m³ de volume máximo de aquecimento recomendado pelo fabricante.

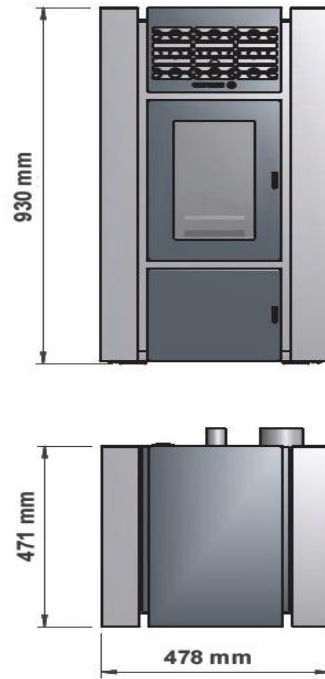


Figura 3.10 – Dimensões da salamandra Ecoama.

3.6.1 Câmara de combustão

Na figura 3.11 é possível observar a câmara de combustão, onde se identificam: canal de alimentação dos pellets, grelha, resistência elétrica e as zonas onde ocorre a combustão primária e secundária.

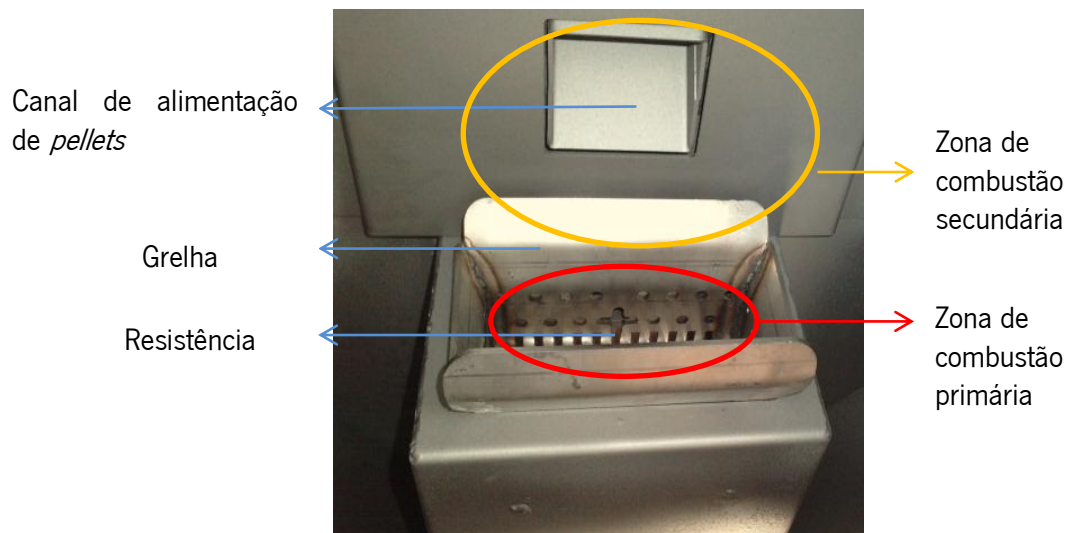


Figura 3.11 – Câmara de combustão.

Por forma a entender o funcionamento da salamandra, de seguida será descrita a sequência de procedimentos e transformações, desde o momento de ligar a salamandra até ao seu funcionamento em condições estáveis.

Com o silo abastecido de pellets, estes são transportados até à entrada da câmara de combustão por meio de um parafuso sem fim, caindo por gravidade através do canal de alimentação na grelha colocada centralmente na parte inferior da câmara de combustão (ver figura 3.11). O parafuso sem fim é acionado por impulsos, com velocidade pré programada em função do nível de potência selecionado.

Carregado o queimador de pellets, a sua ignição é conseguida com recurso a uma resistência elétrica colocada junto da grelha do queimador. A geometria da resistência e a sua disposição na salamandra permitem potenciar o poder de aquecimento devido ao ar circular através desta e sobre a superfície externa. Assim, com a resistência no estado incandescente, o aquecimento dos pellets dá-se por radiação e convecção do ar, originando a ignição e consequente propagação da chama à totalidade dos pellets presentes no queimador.

O aumento da temperatura da resistência dá-se até esta ficar incandescente (ver figura 3.12), atingindo temperaturas de 1000°C no estado estacionário e de 1200°C temporariamente [8].

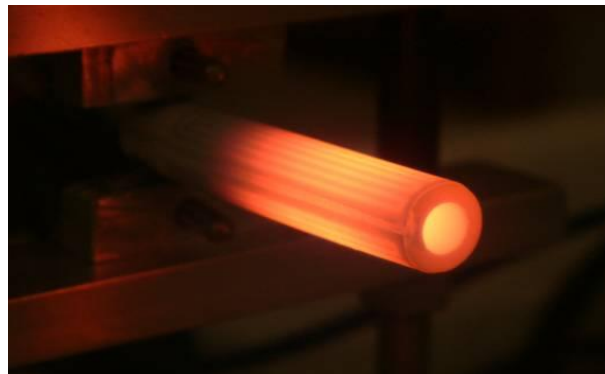


Figura 3.12 – Resistência elétrica [8].

Os gases de combustão resultantes da queima da biomassa trocam calor com o permutador de calor no topo da câmara de combustão. Posteriormente, são extraídos de dentro da salamandra com recurso a um extrator centrífugo e escoam-se através da chaminé. O extrator encontra-se junto à conduta de saída dos gases de exaustão da salamandra, provocando um estado de depressão no interior da câmara de combustão.

A principal entrada de ar primário do exterior é efetuada por meio de um tubo de 37 mm de diâmetro interior que o introduz um pouco abaixo da grelha. Existe uma outra entrada de ar primário, de menor dimensão, no interior da qual está a resistência de 250 W para ajudar à ignição dos pellets (ver figura 3.13).

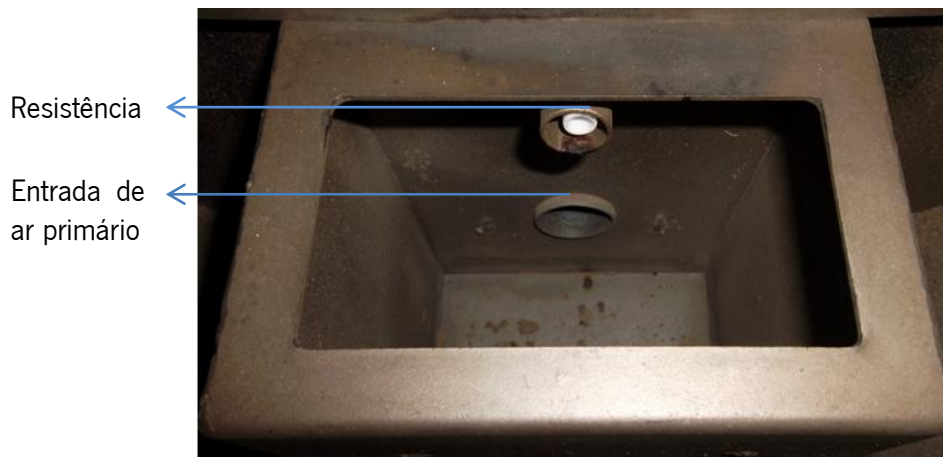


Figura 3.13 – Entrada de ar primário.

O ar secundário é injetado através de pequenos orifícios em torno da porta principal.



Figura 3.14 – Entradas de ar secundário.

3.6.2 Grelha

A geometria da grelha é a exibida na figura 3.15, apresentando como dimensões gerais 50 mm de altura, 120 mm e 60 mm de comprimento e largura, respetivamente. No que diz respeito a entradas de ar primário, esta possui nas faces laterais furos de 6 mm de diâmetro dispostos em duas fiadas horizontais distanciadas entre si 18 mm, por onde passa o ar.

A parte inferior da grelha permite que as cinzas produzidas durante a combustão caiam por gravidade através desta.



Figura 3.15 – Queimador.

3.6.3 Permutador de calor

O permutador de calor (ver figura 3.16) encontra-se no topo da câmara de combustão e é do tipo ar/ar. É constituído por 21 tubos de 190 mm de comprimento e 21 mm de diâmetro interior cada, dispostos em 7 colunas e 3 linhas. Do lado exterior aos tubos, os gases quentes da combustão trocam calor por condução através do material com o ar ambiente que circula pelo lado interior, aquecendo assim o meio ambiente em que se insere o equipamento. Dois ventiladores são utilizados para forçar o ar ambiente a circular no interior dos tubos, aumentando assim a taxa de transferência de calor, e por conseguinte, a eficiência do permutador.



Figura 3.16 – Permutador de calor.

A limpeza do permutador de calor é feita manualmente. O permutador dispõe de um dispositivo raspador de tubos pelo seu lado exterior, que se efetua movimentando o raspador em ambos os sentidos (ver figura 3.17). Para aumentar a transferência de calor, é recomendada a sua limpeza com alguma frequência.

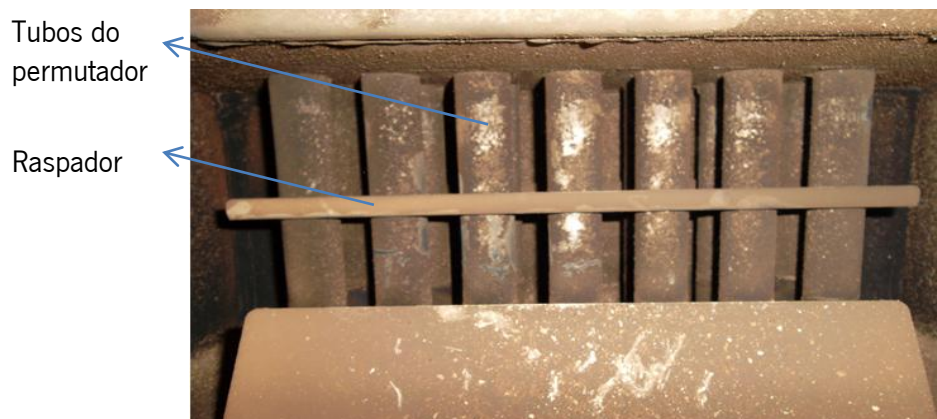


Figura 3.17 – Tubos do permutador de calor.

3.6.4 Electrónica

Com um objetivo sempre presente de otimizar o desempenho da salamandra e assegurar as condições de segurança, esta dispõe de um controlador eletrónico da empresa *AWG Elettronica S.r.l.*, modelo *Fire Performance II* [9].

Certos parâmetros do controlador podem ser alterados pelo utilizador com a ajuda do comando eletrónico (ver figura 3.18). É de interface simples com o utilizador.

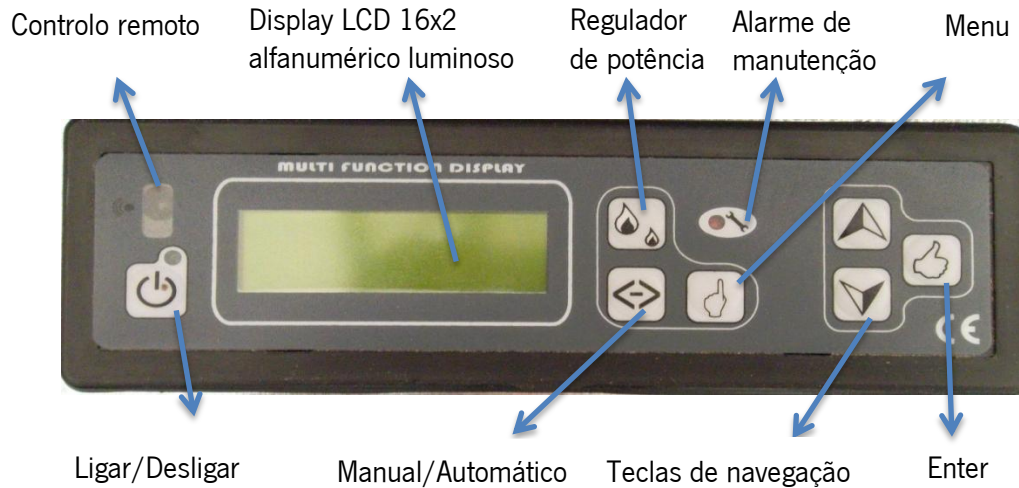


Figura 3.18 – Comando eletrónico.

Na figura 3.19 encontra-se ilustrado o controlador eletrônico e o esquema de ligação dos componentes por ele controlados.

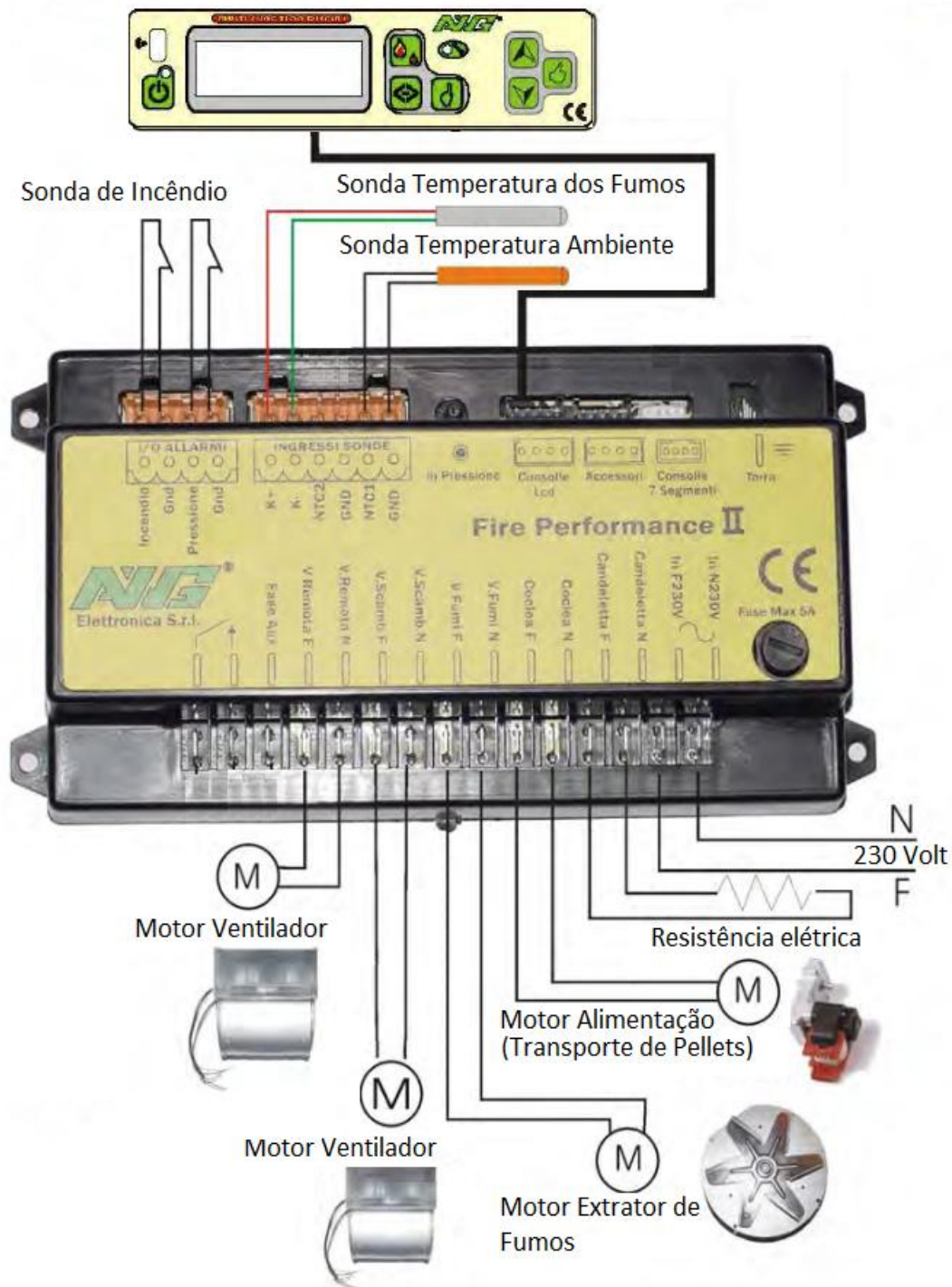


Figura 3.19 – Controlador eletrônico [9].

Na figura 3.20 é apresentada a estrutura de programação do controlador eletrônico. É permitido ao utilizador, através do comando, navegar e alterar certas configurações do menu de funções.

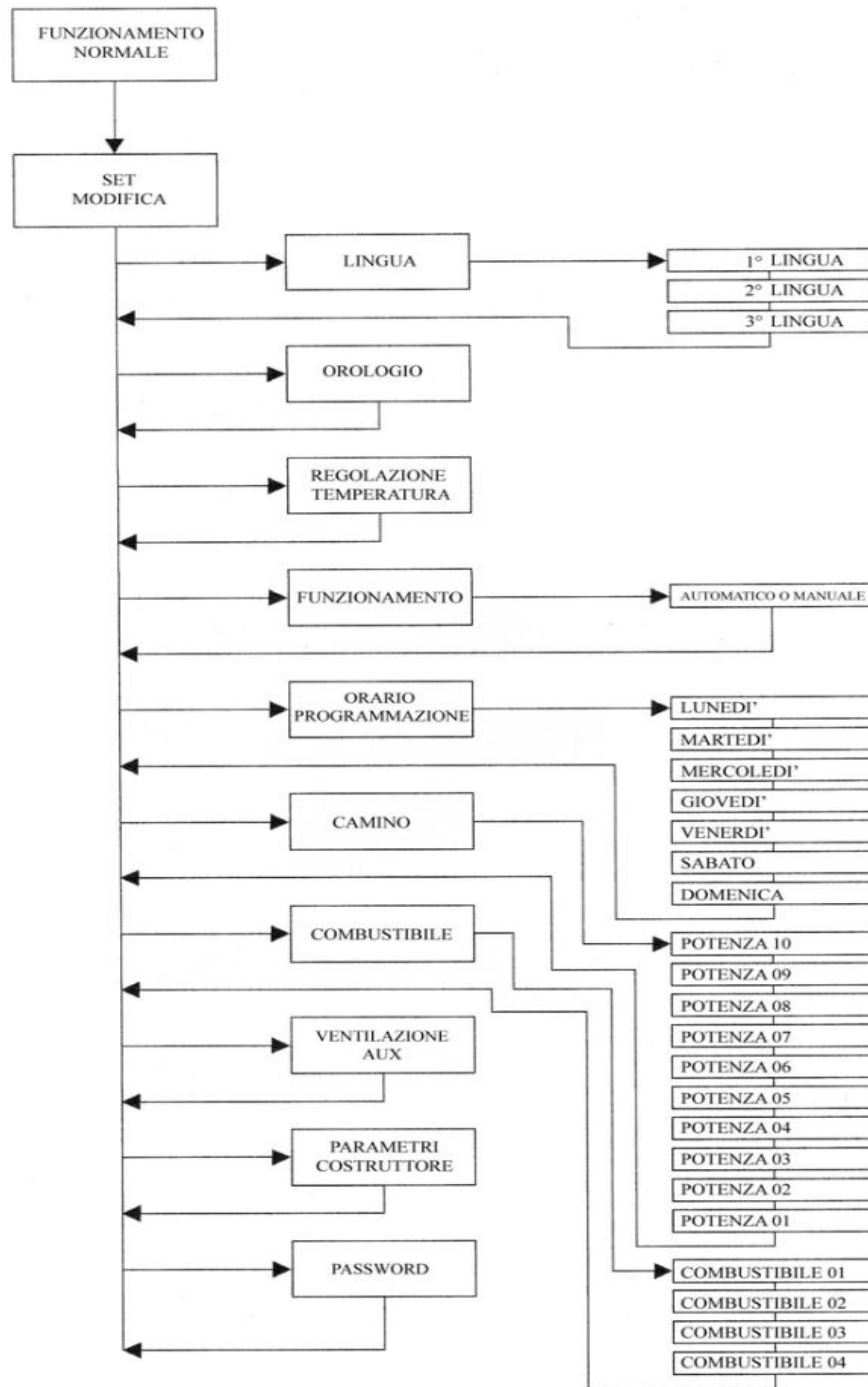


Figura 3.20 – Estrutura do menu.

É permitida a seleção de uma das 3 línguas disponíveis, Italiano, Inglês, Francês.

A salamandra pode funcionar no modo manual ou automático. O controlador permite definir programas semanais para automatizar a operação do sistema. Com esta função programa-se para cada dia as horas pretendidas para o início e fim de funcionamento, bem como a temperatura desejada.

A velocidade do ventilador e o caudal de pellets varia dependendo do nível de potência. Para atingir mais rápido a temperatura desejada, o utilizador pode aumentar a intensidade de queima. O alimentador de combustível doseará o combustível mais rapidamente, bem como o ventilador, aumentando a potência térmica de saída. Contudo, a eficiência da combustão (rendimento) é menor.

Certos parâmetros já vêm programados de fábrica com os quais o utilizador não tem com que se preocupar. O nível de potência no arranque do funcionamento do equipamento já vem pré-programado sendo o nível P3. Até estabilização da chama não é possível alterá-lo.

O modo de limpeza é ativado a cada 15 minutos de funcionamento, durando cerca de 20 segundos. No modo de limpeza, o caudal de pellets é reduzido e o caudal de ar aumentado, de modo a expelir as cinzas presentes na grelha, para evitar acumulação de cinzas e obstrução da grelha.

O controlador possui um sistema de alertas de modo a evitar situações que possam provocar acidentes. Quando assim acontece, no *display* aparece um ícone de alarme a indicar problema (ver tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Mensagens de alarme [10].

Alarme 1	Temperatura excessiva dos gases de exaustão
Alarme 2	Saída de gases obstruída
Alarme 3	Temperatura excessiva na câmara de combustão
Alarme 4	Alimentação de combustível bloqueada
Alarme 5	Não existe combustão no queimador
Alarme 7	Sonda ambiente desligada
Alarme 9	Relógio desacertado

4. TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

4 TÉCNICAS EXPERIMENTAIS

No decorrer deste trabalho, algumas técnicas experimentais foram utilizadas para obtenção dos resultados experimentais que o suportam. Dada a natureza e os objetivos do projeto, a monitorização e avaliação do desempenho energético e ambiental do equipamento requer a pesagem dos pellets, medição de temperaturas em vários locais, a análise de gases e um sistema adequado de aquisição de dados. As técnicas empregues são o objeto deste capítulo.

Na seleção dos equipamentos de medição utilizados foram tidos em conta os requisitos impostos pela norma, relativos à incerteza da medição para cada parâmetro de medição (ver Anexo A – Figura A2).

4.1 Pesagem de pellets

Para a avaliação do consumo de pellets, foi necessário recorrer a uma balança para monitorização dos caudais mássicos de pellets durante os ensaios.

Antes de inicializar o acendimento da salamandra, o silo de pellets era carregado com uma quantidade de combustível pelo menos suficiente para um ensaio e registada manualmente a massa total da instalação de ensaio indicada na balança. Após o acendimento e colocação em regime, era novamente registado manualmente no *Excel* o valor da massa e o tempo decorrido desde o início do acendimento.

Inicializado o período de ensaio, o registo da massa e tempo decorrido foi feito a cada diminuição decimal da massa no mostrador digital da balança. Esta técnica permitiu, durante o ensaio, dar uma perspetiva do caudal de pellets consumido no decorrer do ensaio sem necessitar de esperar pelo fim para o conhecer.

4.2 Medição de temperaturas

A medição de temperaturas nos vários locais fez-se com recurso a termopares.

O princípio de funcionamento de um termopar baseia-se no designado *Efeito de Seebeck*, em homenagem ao físico alemão Thomas Seebeck, que o descobriu em 1821 [11]. Seebeck observou que num circuito fechado formado por dois condutores metálicos diferentes A e B, quando as suas

junções se encontram a temperaturas distintas T_1 e T_2 , no circuito circula uma corrente elétrica (ver figura 4.1). A diferença de potencial produzida é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre as duas junções.

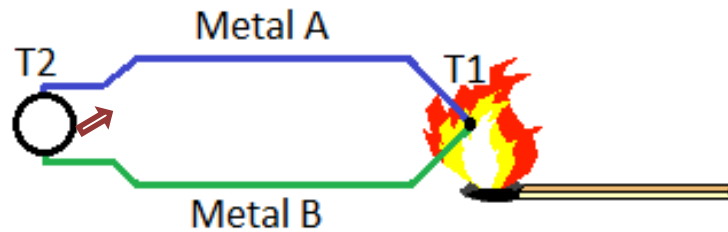


Figura 4.1 – Efeito Seebeck.

No presente trabalho uma das juntas será a exposta à temperatura a medir e a outra é designada por junta fria, que é obtida através de um termistor que faz parte integrante do bloco de terminais do sistema de aquisição de temperaturas (lê a temperatura ambiente).

Embora o efeito seja comum a qualquer combinação de dois metais distintos, existe no mercado pares de materiais normalizados, dos quais são conhecidas algumas das suas características mais importantes, como coeficiente de *Seebeck*, gama de temperaturas de utilização, entre outras.

Na tabela 4.1 é possível visualizar os pares metálicos normalizados e respetivo código de cores segundo a norma americana, alemã e internacional.

Tabela 4.1 – Classificação dos termopares [12].

Tipo	Materiais		ANSI	DIN 43710	IEC 584-3
	Positivo +	Negativo -			
J	Ferro Fe (magnético)	Constantin Cobre-Níquel Cu-Ni			
K	Chromega Ni-Cr	Alomega Ni-Al			
E	Chromega Ni-Cr	Constantin Cobre-Níquel Cu-Ni			
N	Omega-P Ni-Cr-Si	Omega-N Ni-Cr-Mg			
R	Platinum 13% Rhodium Pt-13% Rh	Platinum Pt			
S	Platinum 10% Rhodium Pt-10% Rh	Platinum Pt			
B	Platinum 30% Rhodium Pt-30% Rh	Platinum 6% Rhodium Pt-6% Rh			

Na tabela 4.2 para os mesmos termopares são apresentadas algumas das suas principais características.

Tabela 4.2 – Característica de alguns tipos de termopares [13].

Tipo	Coeficiente de <i>Seebeck</i> [$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$]	Gama de temperaturas [$^{\circ}\text{C}$]	Limites de erro	
			<i>Standard</i>	Especial
J	55	0 a 760	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou 0,75%	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ou 0,4%
K	41	0 a 1260	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou 0,75%	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ou 0,4%
E	68	0 a 870	$\pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ou 0,5 %	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ ou 0,4%
N	39	0 a 1260	$\pm 2,2^{\circ}\text{C}$ ou 0,75%	$\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ ou 0,4%
R	10	0 a 1480	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ou 0,25%	$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ou 0,1%
S	10	0 a 1480	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ ou 0,25%	$\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ou 0,1%
B	10	800 a 1700	0,5%	0,25%

Após a análise dos vários tipos de termopares, optou-se pelo uso de termopares tipo K para realização deste trabalho. São a melhor escolha pela combinação do baixo custo, incerteza na medição e gama de temperaturas a medir adequada a situação real.

Para a medição da temperatura dos gases de exaustão na secção de medição da chaminé foi utilizado um termopar do tipo K, com bainha de 1,5 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento. Foi necessário proceder a algumas alterações para a sua colocação. No tubo do pirómetro de aspiração foi feita uma rosca interior com um macho de 6 mm para aparafusar o termopar no seu interior (ver figura 4.2)

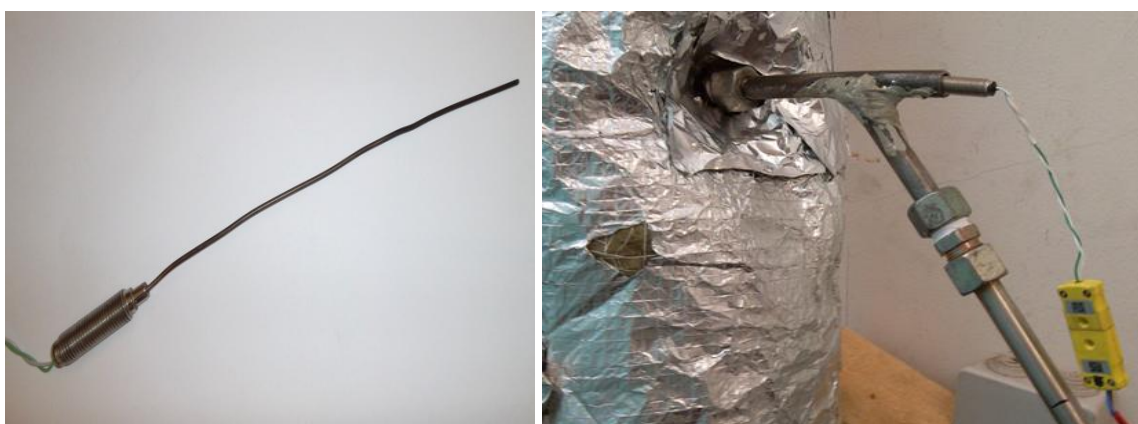


Figura 4.2 – Termopar tipo K, com bainha.

Para a medição das temperaturas do triedro foram utilizados 29 termopares flexíveis do tipo K. Na figura 4.3 é possível observar a ligação do termopar segundo o código de cores apresentado anteriormente, bem como um exemplo da sua aplicação pelo furo da parede do triedro.



Figura 4.3 – Termopar flexível tipo K.

Dadas as dimensões da aplicação, o número de pontos de medida nas paredes ultrapassa o número de canais do sistema de aquisição de dados. Desta forma, numa consideração inicial, os

termopares foram dispostos mais espaçadamente por toda a extensão do triedro, desviados entre si cerca de 400 mm para identificação das zonas mais críticas. Posteriormente, foram concentrados nessas zonas um maior número de termopares para garantir a medição da temperatura mais elevada.

4.3 Análise de gases

Nesta secção são apresentados os equipamentos utilizados para medir a concentração dos produtos de combustão da salamandra, assim como o seu princípio de funcionamento. É ainda feita a descrição do sistema de recolha e pré-tratamento dos gases de exaustão.

4.3.1 Equipamento para medição de CO, CO₂ e O₂

Para a análise das concentrações dos produtos de exaustão, nomeadamente o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂) e o Oxigénio (O₂), foi utilizado um analisador multi-gás de bancada da *Signal Instruments*, modelo 9000MGA (ver figura 4.4). Este equipamento dispõe de três entradas independentes para medição de cada um dos gases. Para melhorar a interface com o utilizador possui três ecrãs LCD, um para cada tipo de gás, que permitem a leitura direta das concentrações medidas e parâmetros de funcionamento.



Figura 4.4 – Analisador multi-gás 9000MGA.

O analisador utiliza dois métodos distintos para analisar as três amostras:

- Para a medição do CO e CO₂ utiliza uma técnica de correlação por absorção de infravermelhos, através do uso de filtros ópticos gasosos para obter a máxima seletividade.
- Para a medição do O₂, utiliza um sensor paramagnético de duas esferas, visto o oxigénio apresentar propriedades paramagnéticas elevadas quando comparado com outros gases. Para evitar formação de condensados este sensor é aquecido.

Na tabela 4.3 são apresentadas algumas das características técnicas do analisador utilizado. Os analisadores de CO_2 e O_2 medem as concentrações das espécies em percentagem volumétrica em base seca, e o analisador de CO em partes por milhão (ppm).

Tabela 4.3 – Características técnicas do analisador 9000MGA da *Signal Instruments* [14].

<i>Gás analisado</i>	CO	CO₂	O₂
Princípio	Infravermelho	Infravermelho	Paramagnético
Gama de medida	1000, 5000, 10000 ppm	5, 10, 20%	5, 10, 25%
Tempo de resposta	<15s	<15s	5s
Linearidade	<0.5% da gama		
Desvio do zero e da amplitude	<0,1 % da gama , em 1h, a temp. e pressão constantes		
Saídas	0-10V; 4-20 mA; RS232		

Foram realizadas calibrações do zero e da escala dos analisadores, com misturas de gases padrão. Este teste é efetuado antes e após cada ensaio, garantindo-se assim o bom desempenho do equipamento.

Na tabela 4.4 é apresentada a composição e concentração do gás de calibração utilizado para cada um dos gases medidos pelo analisador.

Tabela 4.4 – Concentrações dos gases de calibração.

	Analisador de concentrações gasosas		
	CO	CO ₂	O ₂
Composição do gás de calibração	5000 ppm de CO + N ₂	10% de CO ₂ + N ₂	20% O ₂ + N ₂

Tal como na recolha de valores de temperaturas, os sinais analógicos provenientes dos analisadores são transmitidos para um computador, através de conversores A/D, onde os dados são registados a cada segundo.

4.3.2 Recolha e pré tratamento dos gases de combustão

A amostra é captada na chaminé por meio da sonda apresentada na figura 3.8, sendo posteriormente condicionada num circuito onde a humidade é retirada num conjunto de condensadores e as partículas são recolhidas num filtro (figura 4.5). Depois das várias fases, permite garantir uma amostra em condições de ser enviada para os vários analisadores, limpa, seca e a uma temperatura inferior a 40°C, como é recomendado no manual de instruções do equipamento. O transporte da amostra é assegurado por uma bomba de vácuo instalada no circuito.

Há ainda a referir que o sistema inclui uma garrafa de azoto para purga e calibração do zero, e um conjunto de garrafas de gases de calibração (CO, CO₂ e O₂), que permitem uma constante verificação dos referenciais de funcionamento. A amostra é posteriormente lançada para o exterior através de uma tubagem de purga.

Na figura 4.5 é apresentado o esquema de recolha e análise de gases de exaustão, e na figura 4.6 é apresentada uma imagem do mesmo sistema.

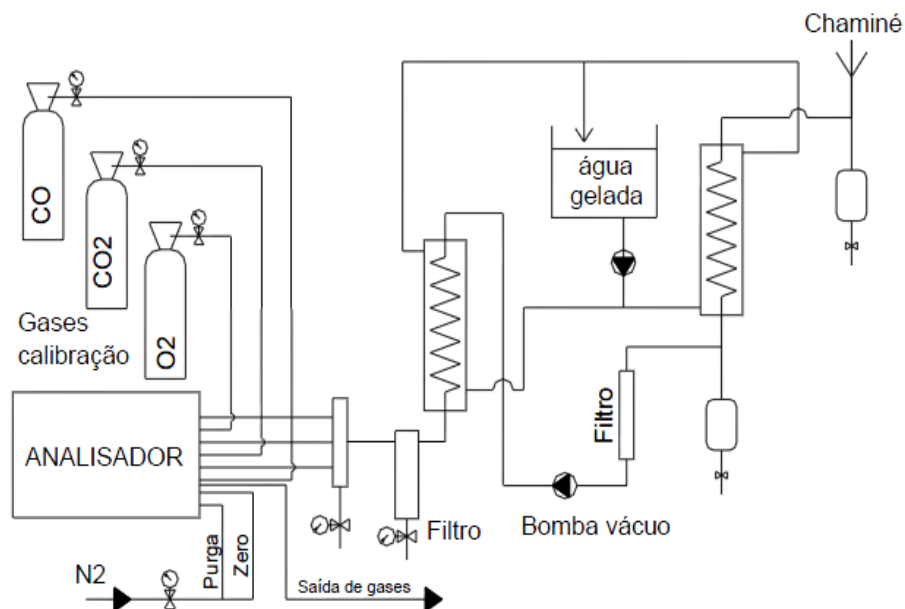


Figura 4.5 – Esquema do sistema de recolha e análise dos gases.



Figura 4.6 – Sistema de recolha e análise de gases.

4.4 Sistema de aquisição de dados

O sistema de aquisição de dados utilizado é todo ele da *National Instruments*. Na figura 4.7 apresenta-se o esquema dos componentes funcionais do sistema de aquisição. O sistema SCXI é constituído pelo chassi SCXI-1000, o qual possui instalados dois módulos de condicionamento de sinal, modelo SCXI-1102, SCXI 1100 aos quais estão ligadas os blocos de terminais modelo SCXI-1303 e SCXI-1300, respetivamente.

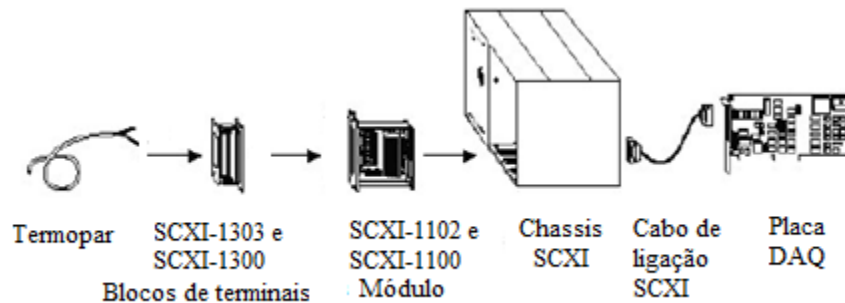


Figura 4.7 – Esquema dos componentes do sistema de aquisição de dados.

A figura 4.8 mostra uma foto do sistema de aquisição de dados localizado no laboratório onde está montada a instalação de ensaios descrita nesse trabalho.



Figura 4.8 – Sistema de aquisição de dados *SCXI*.

A jusante do sistema, encontra-se uma placa de aquisição dos dados provenientes dos sinais recolhidos pelos termopares, ou qualquer outra fonte de tensão, ligados a um módulo de terminais que permite a sua fixação. A placa encontra-se ligada a um chassi SCXI 1000, que para além de alimentar os seus circuitos e módulos, permite ainda expandir o sistema de aquisição, caso seja necessário. É também ao chassi que se liga o cabo para interligar o barramento do próprio chassi ao PC. Num dos *slots* do PC foi colocada uma *DAQ Board*, que para além de permitir a ligação ao chassi, constitui ela própria um sistema de aquisição e controlo de processos.

Placa modelo PCI-MIO16E-4 [15]. Esta é uma placa constituída por 16 canais de entrada de sinal analógico em *Single-Ended (SE)* ou 8 entradas analógicas diferenciais (*DIFF*) com uma taxa máxima de amostragem de 500 kAmstras/s e uma resolução de 12 *bits*. A placa contém também duas saídas analógicas de 12 *bits*, oito linhas digitais entrada/saída e, ainda, dois contadores de 24 *bits*, com temporização interna.

As principais características das entradas analógicas são: ganho selecionável de 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50 ou 100 para cada canal independentemente; tensão máxima de entrada 10V; aquisição não consecutiva de canais.

Chassi SCXI-1000. O chassi SCXI-1000 é a base para a montagem de todo o sistema. Todos os demais módulos são acoplados a este chassi, formando assim o sistema como um todo. A arquitetura do chassi SCXI-1000 inclui o *SCXIBus*, que conduz os sinais analógicos e digitais entre os quatro *slots* que contém. O próprio chassi controla e sincroniza os tempos entre os módulos e a placa *DAQ*. Com esta arquitetura, podem ser adquiridos canais de diversos módulos e em diversos chassis a uma taxa de até 333 kAmostras/s para cada *DAQ device*. Estes chassis podem ser interligados até um número máximo de oito.

Módulo SCXI-1102 [16]. Este módulo é específico para medição de temperaturas de grande exatidão envolvendo termopares. É um módulo amplificador para termopares com 32 canais de entrada, permitindo assim a utilização de até 32 termopares. Cada canal está dotado de um amplificador e um filtro passa-baixo de 2 Hz. Os filtros passa-baixo de três pólos apresentam uma frequência de corte de 10 kHz e um amplificador de ganho programável por *software*, que pode tomar o valor 1 (para sinais de ± 10 V) ou 100 (para termopares ou para sinais com amplitudes da ordem dos milivolts). Este módulo é ainda dotado de uma proteção contra sobretensões até 42V para cada canal de entrada.

As saídas dos 32 amplificadores estão ligadas a um multiplexer que passa os sinais já tratados para a placa *DAQ* no *PC*.

Para a ligação dos termopares, este módulo deve ser acompanhado da caixa de terminais apropriada que neste caso é a SCXI-1303.

Módulo SCXI-1100 [16]. Este é um módulo de 32 canais para entradas analógicas de ± 10 V. As ligações são feitas com recurso a uma caixa de terminais que neste caso deve ser a SCXI-1300.

Bloco de terminais SCXI-1303 e SCXI-1300 [17]. É recomendado para ligação de termopares pela sua construção isotérmica que minimiza os erros causados por gradientes térmicos. Os termopares são ligados ao bloco de terminais SCXI-1303, que por sua vez é conectado ao módulo SCXI-1102.

O terminal SCXI-1303 incorpora um sensor de temperatura do tipo termistor, para medição com grande exatidão da temperatura da junção fria, ou junção de referência, para realizar a compensação de junta fria. Este elemento, no entanto, tem características não lineares, podendo

ser utilizada uma função de linearização para termistores fornecida pela *National Instruments*. Este termistor coloca na saída 1,91 V a 0°C até 0,58 V a 55°C. Para a aquisição dos sinais provenientes do analisador de gases, utilizou-se o bloco de terminais SCXI-1300.

A figura 4.9 mostra como foram ligados os termopares ao bloco SCXI-1303.



Figura 4.9 – Forma de ligar os termopares ao bloco de terminais SCXI-1303.

Em termos de tratamento, aquisição e visualização de dados é usado o *software Labview* da *National Instruments*. Trata-se de uma ferramenta de programação gráfica que usa ícones ao invés de linhas de texto para criar aplicações.

A aplicação desenvolvida permite controlar o início das medições, programar os parâmetros de aquisição, registrar os dados e exportá-los. Nela estão incluídas as funções de linearização dos sinais dos termopares, e para os sinais provenientes dos analisadores de gases, é efetuada uma conversão direta da voltagem medida em concentração, de acordo com o fator de calibração definido com base na escala de leitura do equipamento.

O painel frontal da aplicação desenvolvida em *Labview* apresenta um interface simples com o utilizador, podendo este definir os canais de leitura, a taxa de aquisição, o início e fim da aquisição, entre outros parâmetros. Uma grande vantagem da aplicação desenvolvida é permitir assistir em tempo real à monitorização dos dados graficamente (temperaturas e concentrações das emissões gasosas), e assim detetar possíveis anomalias. A figura 4.10 mostra o painel frontal de interface com o utilizador.

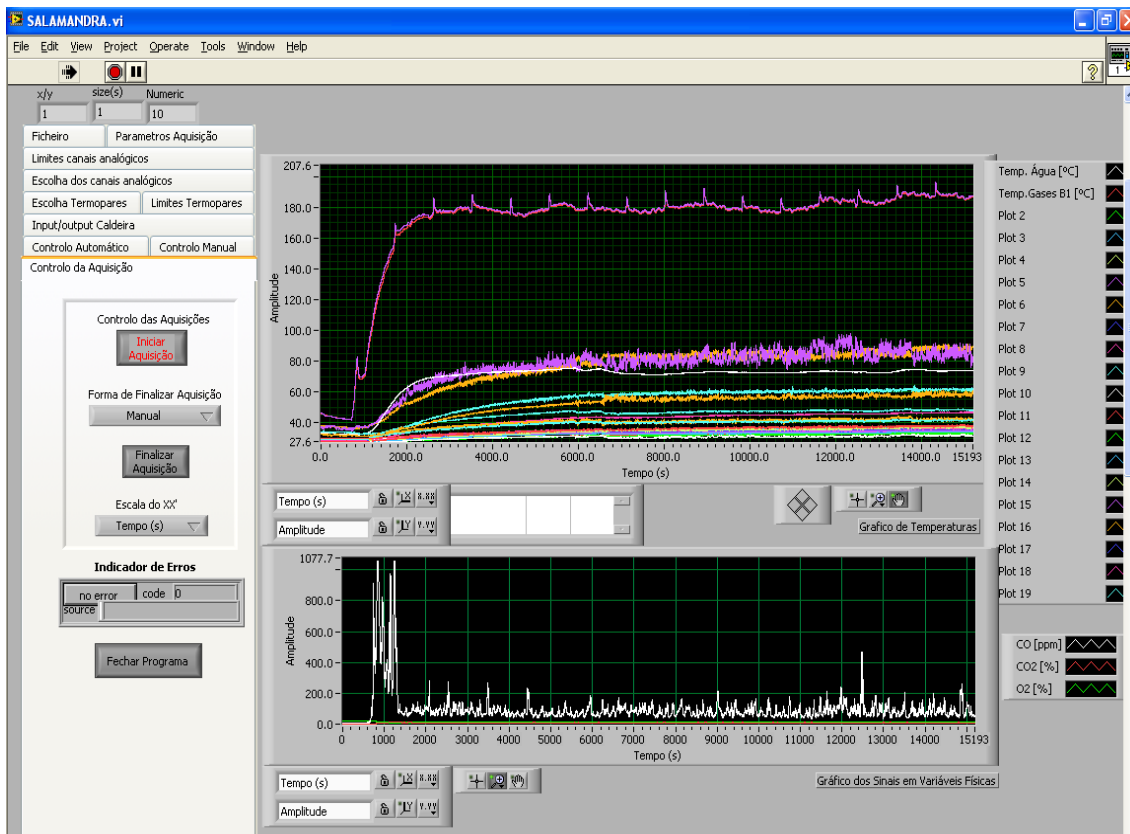


Figura 4.10 – Painel frontal da aplicação desenvolvida em *Labview*.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais foram levados a cabo na instalação projetada e construída segundo a norma EN14785:2006 que foi extensivamente detalhada no capítulo 3.

Neste capítulo são apresentados os resultados experimentais obtidos dos testes realizados para os diferentes níveis de potência.

5.1 Condições de teste

Para a realização dos testes foi utilizado sempre o mesmo tipo de combustível que cumpre com os requisitos impostos pela norma e recomendações do fabricante do aparelho. No Anexo A – Figura A.3 são apresentadas as especificações do combustível impostas pela norma.

Na tabela 5.1 são apresentadas as propriedades dos pellets utilizados.

Tabela 5.1 – Propriedades dos pellets utilizados nos ensaios.

PCI	18600 kJ/kg
Temperatura de fusão das cinzas	1304°C
Teor de cinza a 816°C	0,7%
Massa específica aparente	0,65 kg/dm ³
Massa volúmica da partícula	1,15 kg/dm ³
Teor de humidade	8%
Diâmetro	8 mm

Procurou-se, dentro dos possíveis, manter a temperatura do laboratório aproximadamente igual para todos os ensaios realizados.

Todos os ensaios foram inicializados a frio. Numa primeira fase procedeu-se ao acendimento inicial e colocação em regime (fase de arranque), seguido o ensaio em condições estáveis. A duração do período de colocação em regime difere das condições de arranque da combustão dos vários níveis de potência. A duração do período de ensaio em condições estacionárias foi

de 6 horas para os ensaios à potência térmica reduzida, P1 (duração mínima estabelecida pela norma), e de 3h para os restantes ensaios dos diversos níveis de potência.

De seguida, faz-se uma análise ambiental e térmica nas duas fases. Os valores apresentados para cada nível de potência foram calculados a partir da média de dois resultados de ensaio válidos e distintos. Para que os resultados fossem considerados válidos, eles não deviam afastar-se do valor médio de dois ensaios mais do que 10%.

Relativamente aos principais constituintes gasosos produzidos e monitorizados durante a combustão, temos: monóxido de carbono expresso em partes por milhão; dióxido de carbono e oxigénio expresso em percentagem de volume.

5.2 Caracterização ambiental

Após a realização de diversos ensaios de combustão e monitorização das concentrações gasosas e temperaturas ambiente e dos gases de exaustão, podemos verificar o comportamento ambiental e energético do equipamento. Este subcapítulo tem como estrutura inicial a apresentação gráfica dos resultados médios de dois testes ao longo do tempo, para cada um dos níveis de potência, e no final, uma apresentação sucinta e de fácil comparação dos valores dos diferentes níveis.

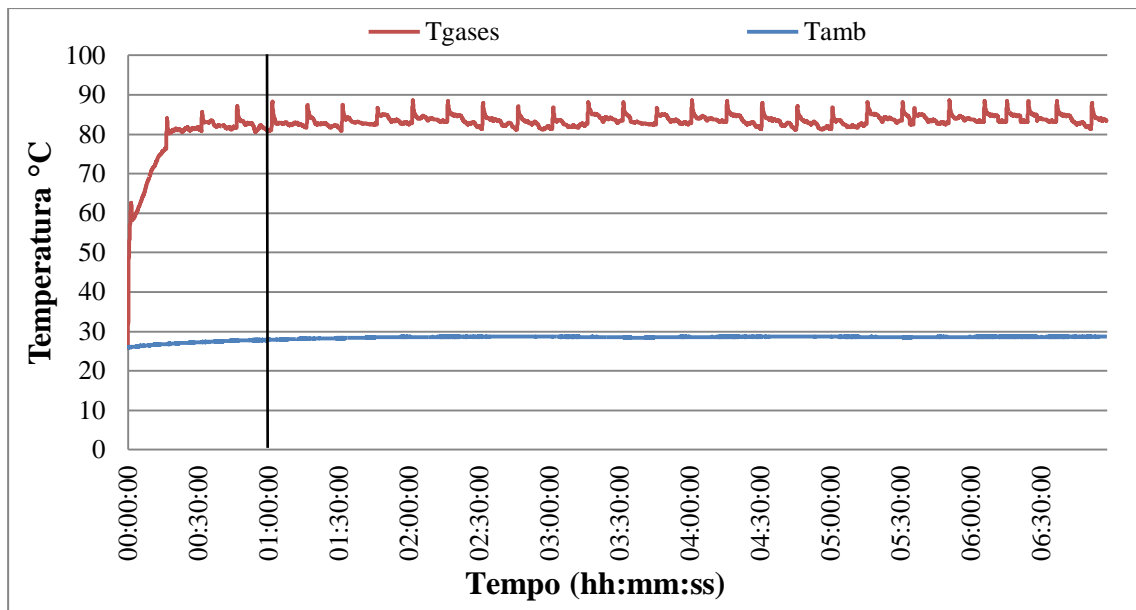
➤ Ensaio P1

No gráfico 5.1 é possível observar a evolução da temperatura dos gases de exaustão e ambiente ao longo do ensaio. Verifica-se um aumento da temperatura dos gases até à estabilização na ordem dos 83°C. Pode-se observar neste gráfico de temperaturas, para este nível e para os seguintes, a ocorrência de uma subida brusca da temperatura dos gases com uma periodicidade de 15 em 15 minutos, quando é ativo o modo limpeza em que o caudal de ar aumenta.

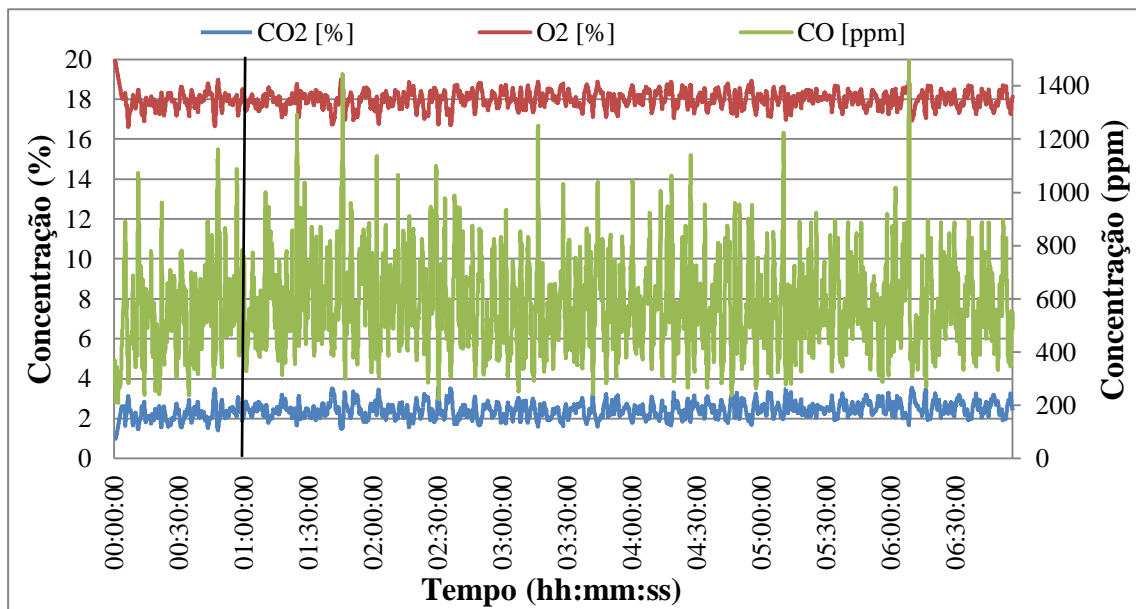
Relativamente à temperatura ambiente esta permanece aproximadamente constante, rondando os 28°C.

Para este nível de potência, potência térmica reduzida, observaram-se condições estáveis cerca de 1 hora após inicializar o acendimento do equipamento (ver reta vertical representada nos gráficos seguintes).

Gráfico 5.1 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P1.



No gráfico 5.2 está representado a evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ ao longo do ensaio.

Gráfico 5.2 – Evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ durante o ensaio à P1.

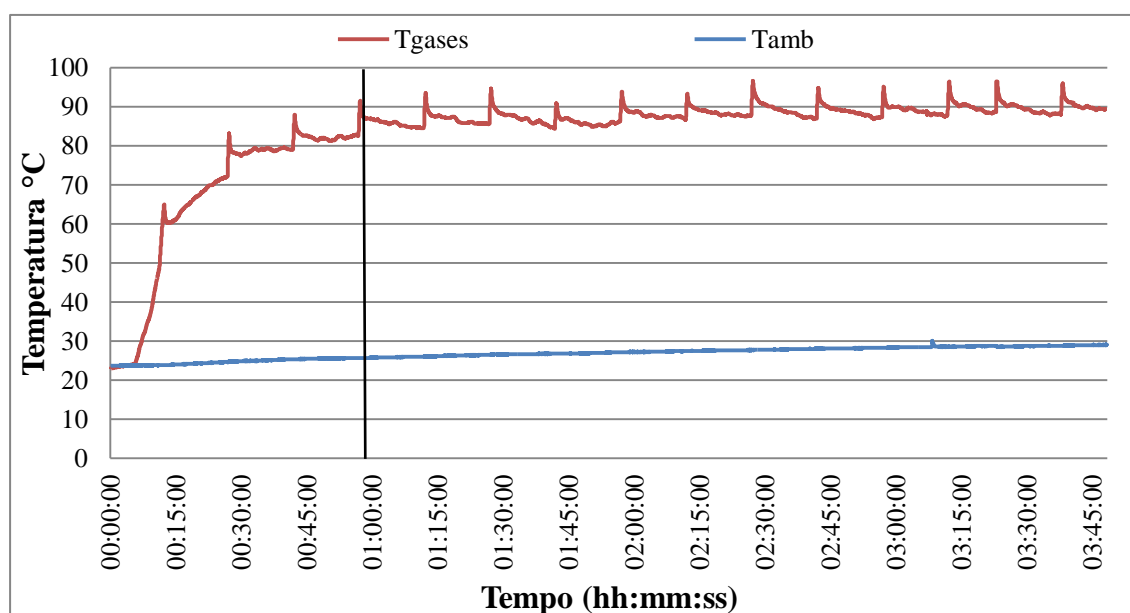
Neste gráfico verificamos que a concentração de O₂ e CO₂ variam inversamente, tal como espectável. Podemos observar no início do teste a descida brusca da concentração do O₂, altura em que se dá a ignição do combustível.

➤ Ensaio P2

No gráfico 5.3 apresenta-se a evolução da temperatura dos gases de exaustão e ambiente ao longo do ensaio, para a potência P2. Após ignição do combustível, observa-se uma rápida subida da temperatura dos gases de combustão até à sua estabilização na ordem dos 86°C. Relativamente à temperatura ambiente registou-se uma média de 27°C.

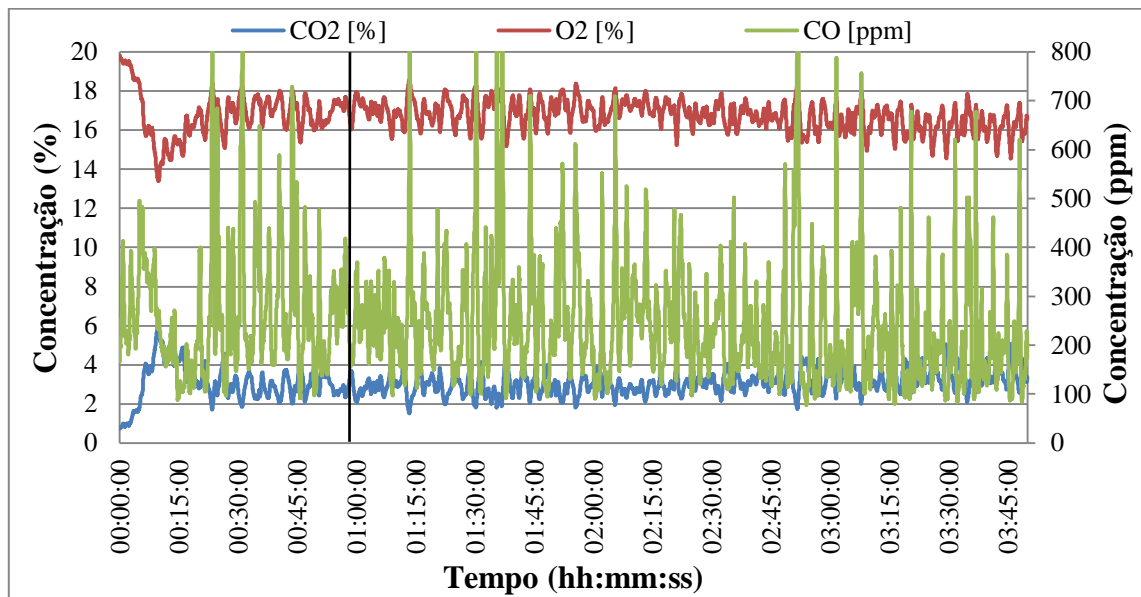
O período de ensaio em condições estáveis inicia-se por volta de 55 minutos.

Gráfico 5.3 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P2.



No gráfico 5.4, após ignição do combustível, verifica-se uma rápida descida da concentração de O_2 , voltando a subir e estabilizar, após algum tempo, nos cerca de 17%. A evolução da concentração de CO_2 varia inversamente, tendo subido até perto dos 6%, seguida de uma descida e estabilização nos 3%, aproximadamente.

Neste gráfico verificamos a existência de picos de CO desde o início da ignição do combustível, apresentando sempre ao longo do ensaio uma produção irregular de CO. O valor médio da concentração é razoável, na ordem dos 250 ppm durante o ensaio em estado estacionário.

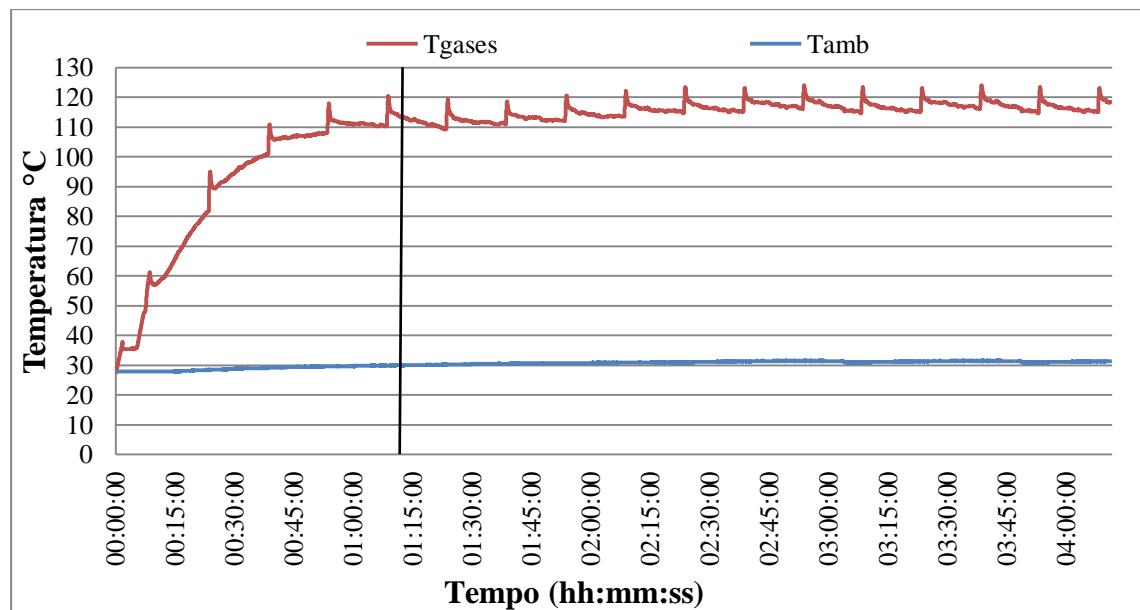
Gráfico 5.4 – Evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ durante o ensaio à P2.

➤ Ensaio P3

No gráfico 5.5 apresenta-se a evolução da temperatura dos gases de exaustão e ambiente ao longo do ensaio para a potência P3. Registou-se uma temperatura média dos gases e ambiente de aproximadamente 115°C e 30°C, respetivamente.

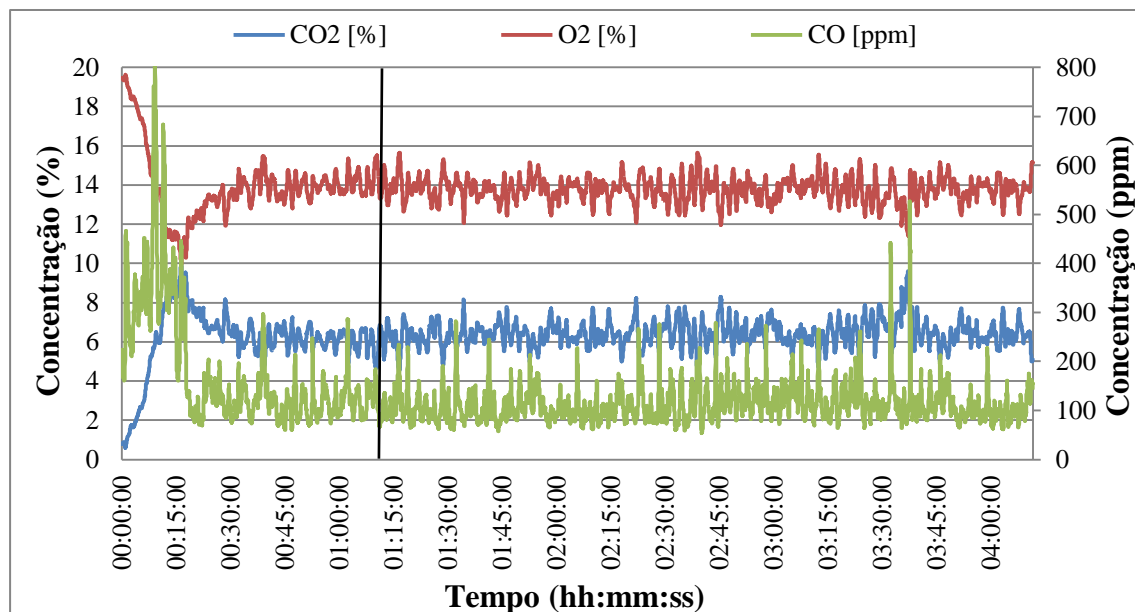
O período de ensaio em condições estáveis inicia-se por volta de 1h10min.

Gráfico 5.5 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P3.



No gráfico 5.6 está representado a evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ ao longo do ensaio.

Gráfico 5.6 – Evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ durante o ensaio à P3.



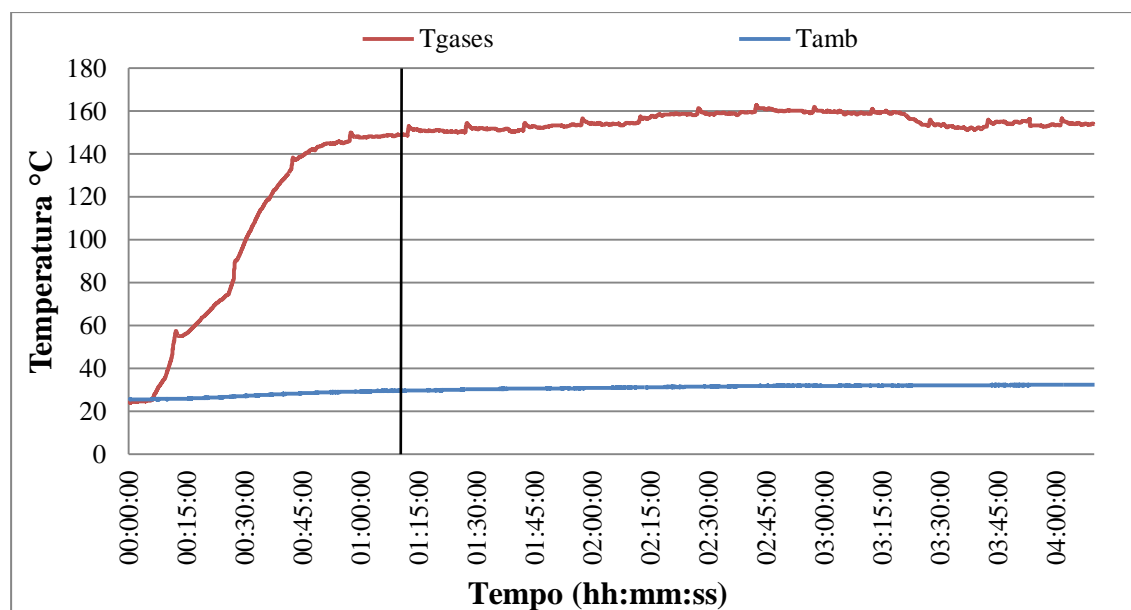
Observando a evolução do teor de CO, verifica-se uma menor variação da sua produção, ao contrário do observado nos ensaios anteriores. Inicialmente atinge valores elevados, altura em que ocorreu o início da ignição e estabilização da chama. Registou-se um valor baixo de CO de pouco mais que 100 ppm durante o período de ensaio em condições estáveis.

Para as concentrações de O₂ e CO₂ foram registadas, no período de ensaio, concentrações de aproximadamente 14% e 6%, respetivamente.

➤ Ensaio P4

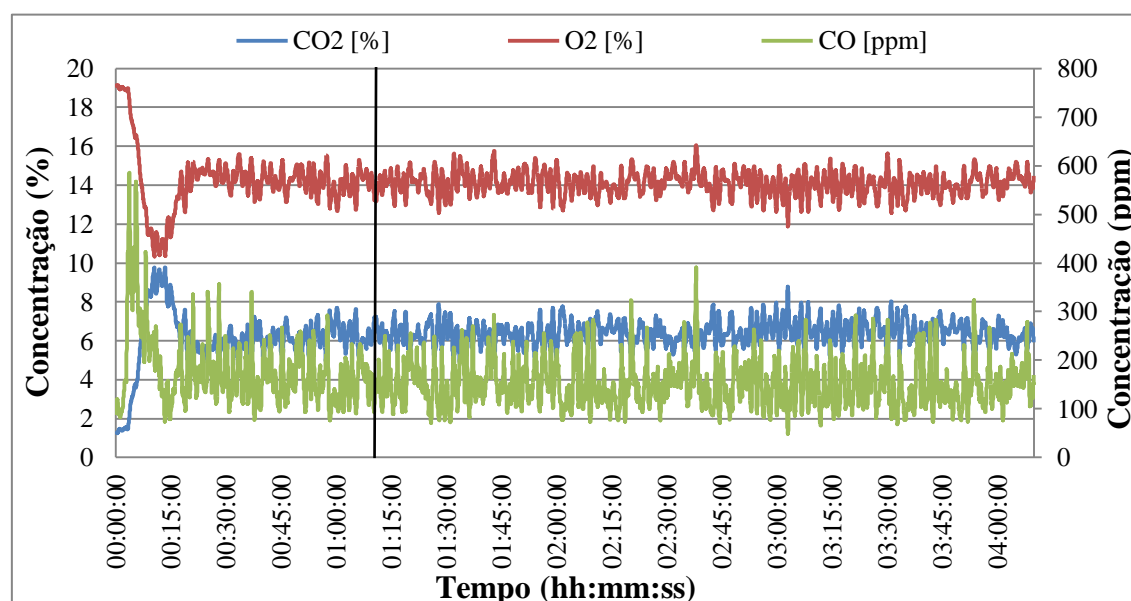
No gráfico 5.7 apresenta-se a evolução da temperatura dos gases de exaustão e ambiente ao longo do ensaio para a potência P4. As condições estáveis de início de ensaio em estado estacionário observaram-se por volta de 1h10min.

Observando a evolução da temperatura dos gases, verifica-se um aumento progressivo até estabilização por volta dos 155°C. Durante o ensaio em condições estáveis, registou-se uma temperatura média ambiente de 30°C.

Gráfico 5.7 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P4.

No gráfico 5.8 está representado a evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ ao longo do ensaio para o teste à potência P4.

Comparativamente com o nível de potência anterior, as concentrações de CO₂ e O₂ registadas durante o período de ensaio em condições estáveis são bastante semelhantes. Os níveis de concentração de CO são ligeiramente superiores aos do nível de potência anterior, rondando a média das 150 ppm.

Gráfico 5.8 – Evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ durante o ensaio à P4.

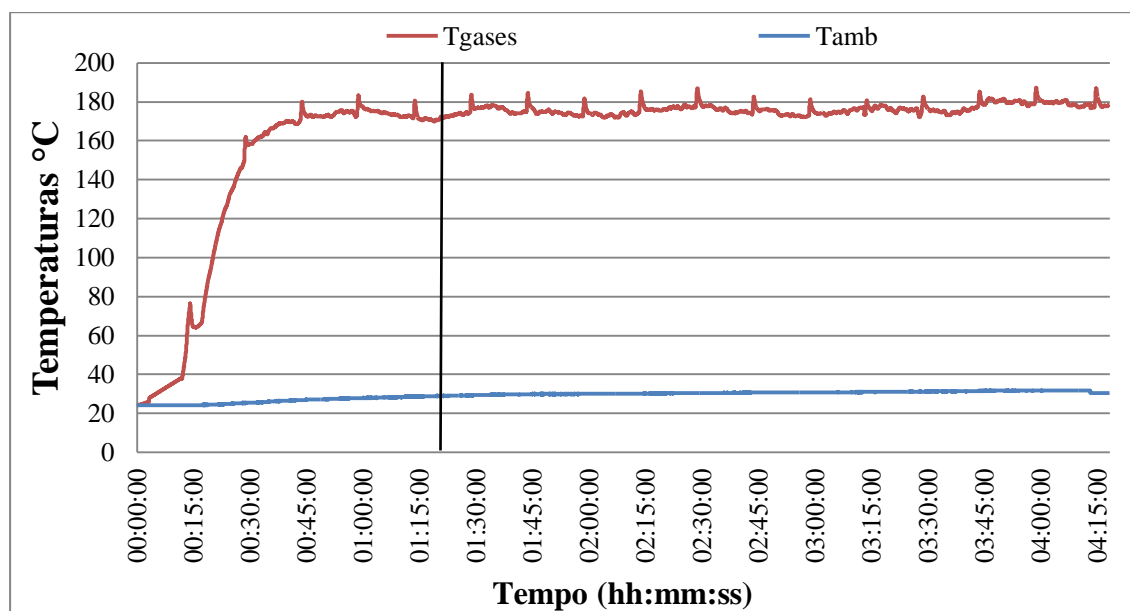
➤ Ensaio P5

O nível de potência P5 também pode tomar a designação de nível de potência nominal. Segundo a norma aplicada a este equipamento, este nível é objeto de limites máximos de emissões.

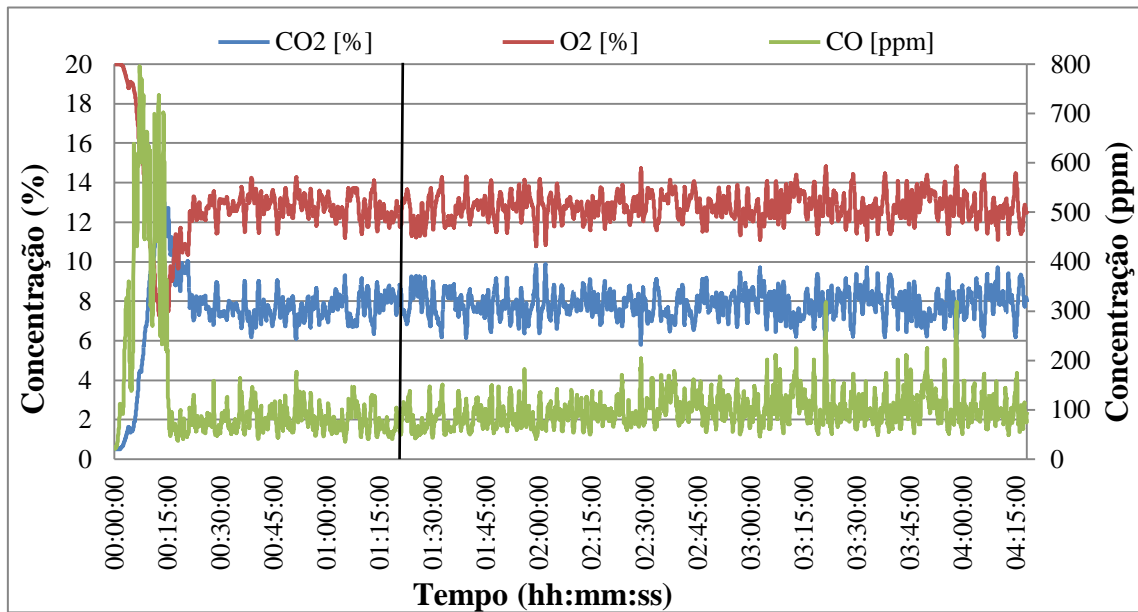
No gráfico 5.9 apresenta-se a evolução da temperatura dos gases de exaustão e ambiente ao longo do ensaio para o nível de potência P5.

Só se observaram condições estáveis por volta de 1h20min, tendo-se registado uma temperatura dos gases e ambiente de aproximadamente 175°C e 30°C, respetivamente.

Gráfico 5.9 – Evolução da temperatura dos gases e ambiente durante o ensaio à potência P5.



No gráfico 5.10 está representado a evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ ao longo do ensaio à potência P5.

Gráfico 5.10 – Evolução da concentração de CO, CO₂ e O₂ durante o ensaio à P5.

De todos os ensaios realizados para os cinco níveis de potência, foi neste nível que registou-se, durante a fase de ensaio em condições estáveis, os valores médios mais baixos de concentração de oxigénio e mais elevados de dióxido de carbono.

Relativamente à emissão de monóxido de carbono, durante o ensaio em condições estáveis registou-se uma ótima média, aproximadamente 90 ppm. A sua evolução durante o ensaio é bastante estável.

Por forma a poder-se comparar facilmente o valor das variáveis apresentadas anteriormente, na tabela 5.2 e tabela 5.3 são apresentados os valores médios das mesmas para os vários níveis de potência.

Na tabela 5.2 é apresentada a média da concentração gasosa de CO, CO₂ e O₂ registada no ensaio em fase de arranque. Na mesma tabela, é ainda apresentada a concentração de CO em partes por milhão com base em 13% de oxigénio, para uma posterior comparação com os limites máximos impostos pela norma.

Tabela 5.2 – Concentração gasosa de CO, CO₂, O₂ registada durante ensaio em fase de arranque.

Níveis de Potência	P1	P2	P3	P4	P5
CO (ppm)	478	238	238	199	189
CO (mg/m ³ @13%O ₂)	1562	525	335	299	238
CO ₂ (%)	2,12	3,38	6,06	5,90	7,27
O ₂ (%)	17,94	16,47	13,90	14,32	13,06

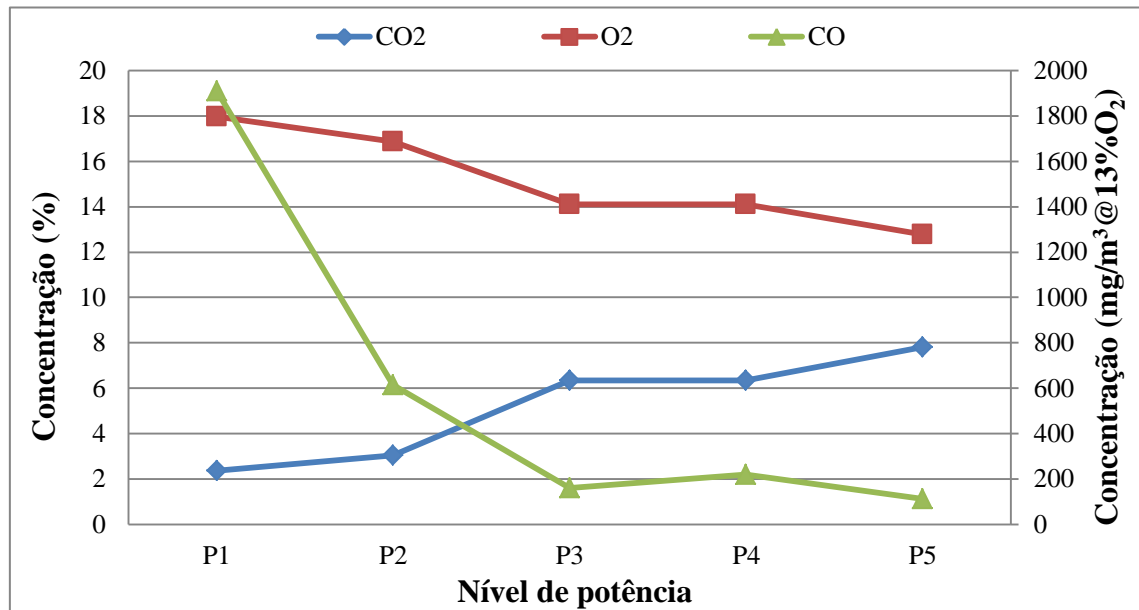
Como referido anteriormente, para efeitos de legislação aplicada a este tipo de equipamento ensaiado, só interessa o comportamento energético e ambiental no período de ensaio em estado estacionário.

Na tabela 5.3 é apresentada a média da concentração de CO, CO₂ e O₂ registada no ensaio após se ter verificado condições estáveis.

Tabela 5.3 – Concentração gasosa de CO, CO₂, O₂ registada durante ensaio em condições estáveis.

Níveis de Potência	P1	P2	P3	P4	P5
CO (ppm)	581	254	115	152	93
CO (mg/m ³ @13%O ₂)	1911	616	160	221	113
CO ₂ (%)	2,37	3,05	6,34	6,35	7,82
O ₂ (%)	17,96	16,88	13,82	14,11	12,77

No gráfico 5.11 observa-se a representação gráfica dos valores de emissões registadas na tabela anterior durante o período de ensaio em condições estáveis.

Gráfico 5.11 – Comparação da concentração de CO, CO₂, O₂ registada para os diferentes níveis de potência.

As emissões gasosas estão com níveis elevados de concentração de oxigénio, principalmente para potências baixas, o que demonstra que o equipamento foi desenvolvido para se comportar melhor a trabalhar em grandes potências. Neste gráfico verificamos que a concentração de O₂ e CO₂ variam inversamente, como seria espectável.

Relativamente à concentração de CO, verificam-se níveis razoáveis para potências elevadas, ao contrário das potências P1 e P2, em que esta é excessivamente elevada, com destaque para a P1 que chega a ultrapassar as 1900 mg/m³@13%O₂.

Na tabela 5.4 temos a comparação entre os resultados experimentais e os requisitos impostos pela norma para as emissões à potência térmica nominal e reduzida.

Tabela 5.4 – Comparação entre resultados experimentais e valores limite impostos pela norma.

Nível de Potência	Norma - Limite de CO (mg/m ³ @13%O ₂)	CO registado no ensaio (mg/m ³ @13%O ₂)
Potência reduzida	700	1911
Potência nominal	500	113

Para efeitos legislativos, observa-se que o equipamento à potência nominal apresenta um ótimo desempenho ambiental com emissões de CO bastante inferiores ao limite imposto pela

norma. À potência reduzida, a concentração de CO registada é surpreendentemente superior ao limite imposto, o que faz com que o equipamento ensaiado não esteja em conformidade com a norma.

Caudal mássico de produtos da combustão

O caudal mássico dos produtos da combustão foi determinado com alguma aproximação com base no teor de CO₂ dos gases de exaustão e nas propriedades do combustível, pela equação (5.1) [6].

$$\dot{m} = \frac{\dot{m}_{comb} * 1,3 * \frac{(C - C_r)}{0,536 * (CO_2 + CO)} + \frac{(9H + W)}{100}}{3,6} \quad (5.1)$$

Na tabela 5.5 são apresentados os caudais mássicos de combustível consumido, medidos com o auxílio da balança durante os ensaios e os caudais mássicos dos produtos da combustão.

Tabela 5.5 – Caudais mássicos de combustível e produtos da combustão.

Níveis de Potência	P1	P2	P3	P4	P5
\dot{m}_{comb} (kg/h)	0,45	0,74	1,32	1,57	2,02
\dot{m} (g/s)	5,6	7,4	6,5	7,6	8,0

5.3 Caracterização térmica

Na análise térmica constaram as perdas térmicas determinadas a partir dos valores médios das temperaturas dos gases, das temperaturas ambiente, das composições dos gases e dos constituintes não queimados presentes nos resíduos.

O método de ensaio permite, assim, a contabilização da contribuição de cada uma das perdas térmicas, nomeadamente perdas térmicas e termoquímicas pelos gases de exaustão, e perdas por não queimados nos resíduos que passam através da grelha. Constam ainda os cálculos das potências térmicas, finalizando com a determinação dos respetivos rendimentos.

Perdas térmicas pelos gases de exaustão

As perdas de ordem térmica pelos gases de exaustão são as mais significativas. Delas depende a entalpia dos gases, tendo como variáveis:

- Diferença entre a temperatura dos gases e a ambiente do laboratório;
- Do calor específico dos gases de exaustão e do vapor de água;
- Da composição química dos gases (teor de CO e CO₂);
- Da composição do combustível utilizado (teor de carbono, hidrogénio e humidade).

O calor específico dos gases secos nas condições normalizadas é obtido pela equação (5.2), expresso em kJ.K⁻¹.m⁻³ [6].

$$C_{pmd} = \left(0.361 + 0.008 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right) + 0.034 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right)^2 + \left(0.085 + 0.19 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right) - 0.14 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right)^2 \right) * \left(\frac{CO_2}{100} \right) + \left(0.3 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right) - 0.2 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right)^2 \right) * \left(\frac{CO_2}{100} \right)^2 \right) \quad (5.2)$$

O calor específico do vapor de água contido nos produtos de exaustão é determinado pela equação (5.3) em kJ.K⁻¹.m⁻³.

$$C_{pmH_2O} = 3.6 * \left(0.414 + 0.038 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right) + 0.034 * \left(\frac{T_{gases}}{1000} \right)^2 \right) \quad (5.3)$$

Desta forma, o cálculo das perdas térmicas pelos gases de exaustão é determinado pela equação (5.4), expressas em kJ.kg⁻¹.

$$Q_a = (T_{gases} - T_{amb}) * \left[\left[\frac{(C_{pmd} * (C - C_r))}{0.536 * (CO + CO_2)} \right] + \left[\frac{C_{pmH_2O} * 1.92 * (9H + W)}{100} \right] \right] \quad (5.4)$$

O valor percentual destas perdas é obtido pela equação (5.5).

$$q_a = 100 * \frac{Q_a}{H_u} \quad (5.5)$$

Perdas termoquímicas pelos gases de exaustão

As perdas de calor de ordem química pelos gases de escape dependem, essencialmente, das concentrações química dos gases e da diferença entre o teor de carbono presente no combustível e o que passa através da grelha do queimador. As perdas termoquímicas determinadas pela equação (5.6) são expressas em kJ.kg^{-1} .

$$Q_b = \frac{12644 * CO * (C - C_r)}{0.536 * (CO_2 + CO) * 100} \quad (5.6)$$

O valor percentual destas perdas é obtido pela equação (5.7).

$$q_b = 100 * \frac{Q_b}{H_u} \quad (5.7)$$

Perdas térmicas por não queimados

O cálculo destas perdas permite determinar as perdas de matéria combustível que passa através da grelha. Tal como apresentado na equação (5.8), a determinação destas perdas é feita em função da percentagem mássica dos constituintes do combustível que passam através da grelha (b) e da quantidade total de resíduos [6]. As perdas determinadas pela equação (5.8) são expressas em kJ.kg^{-1} .

$$Q_r = \frac{335 * b * R}{100} \quad (5.8)$$

O valor percentual destas perdas é obtido pela (5.9).

$$q_r = 100 * \frac{Q_r}{H_u} \quad (5.9)$$

Para a determinação das perdas pela equação anterior, seria necessário recorrer a uma análise laboratorial das cinzas. Não tendo recorrido a tais meios, admitiu-se que as perdas seriam equivalentes a 0,2% no rendimento, tal como considerado pela norma para simplificação. Quando tal simplificação se assume, o valor do conteúdo em carbono que passa através da grelha (C_r) é determinado pela equação (5.10).

$$C_r = \frac{0,2 * H_u}{33500} \quad (5.10)$$

Rendimento

Para calcularmos o rendimento do equipamento para os vários níveis de potência foi tido em conta o método das perdas. Este, consiste em subtrair ao valor máximo de rendimento (100%) as percentagens das perdas apresentadas anteriormente (ver equação (5.11) [6].

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad (5.11)$$

Potência térmica

A potência térmica foi determinada com base no rendimento, na massa de combustível queimada por hora e no poder calorífico inferior do combustível de ensaio (ver equação (5.12).

A potência térmica útil de aquecimento ambiente propaga-se essencialmente por convecção.

$$P = \frac{\eta * \dot{m}_{comb} * H_u}{100 * 3600} \quad (5.12)$$

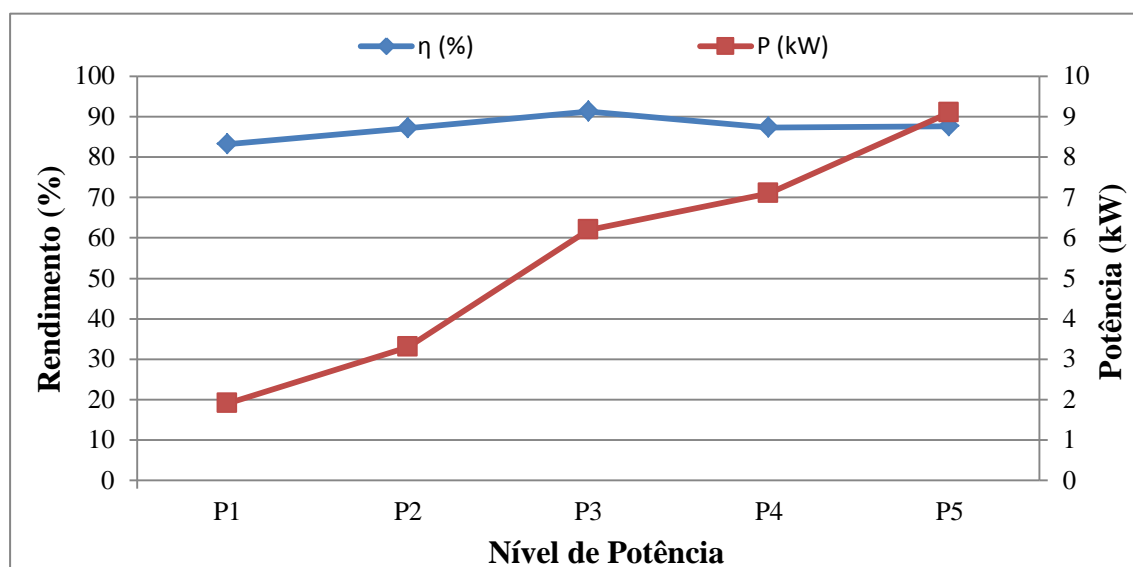
Da aplicação das equações apresentadas anteriormente resultaram os seguintes valores que caracterizam cada um dos níveis de funcionamento.

Tabela 5.6 – Valores das perdas, rendimento e potência registados durante os ensaios realizados para cada um dos cinco níveis de potência.

Níveis de Potência	P1	P2	P3	P4	P5
T_{amb} (°C)	28,5	27,1	30,8	30,9	30,0
T_{gases} (°C)	83,4	86,7	114,8	153,8	175,3
Q_a (kJ/kg)	2455,9	2188,6	1569,3	2296,2	2252,3
q_a (%)	13,2	11,77	8,44	12,35	12,11
Q_b (kJ/kg)	642,7	168,6	21,3	29,4	12,2
q_b (%)	3,46	0,91	0,11	0,16	0,07
q_r (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
η (%)	83,1	87,1	91,3	87,3	87,6
P (kW)	1,9	3,3	6,2	7,1	9,1

No gráfico 5.12 encontram-se representados graficamente os valores de rendimento e potência dos cinco níveis de funcionamento do equipamento. Da análise do gráfico verifica-se que os valores de rendimento são todos muito próximos, com exceção do rendimento do nível P1 com o menor rendimento, 83,1%, e o nível P3 com o maior rendimento de todos de 91,3%.

Gráfico 5.12 – Rendimento e potência dos cinco níveis de funcionamento.



5.4 Temperaturas de segurança

Durante o ensaio de determinação do desempenho térmico à potência térmica nominal foram registadas as temperaturas na base e paredes do triedro. A temperatura mais elevada a registar no triedro não deve exceder a temperatura ambiente em mais de 65°C para que sejam verificadas as condições de segurança para materiais combustíveis.

Da análise dos valores de temperatura registados verificou-se que os valores mais elevados se situavam na zona da base do triedro sobre o qual está apoiado o equipamento. As temperaturas registadas nas paredes mantêm-se muito próximas da temperatura ambiente. Dos diversos pontos de registo de temperatura, no gráfico 5.13 são apresentados os quatro pontos mais críticos, ou seja, os que registaram as temperaturas mais elevadas.

Gráfico 5.13 – Temperaturas mais elevadas registadas na base do triedro.

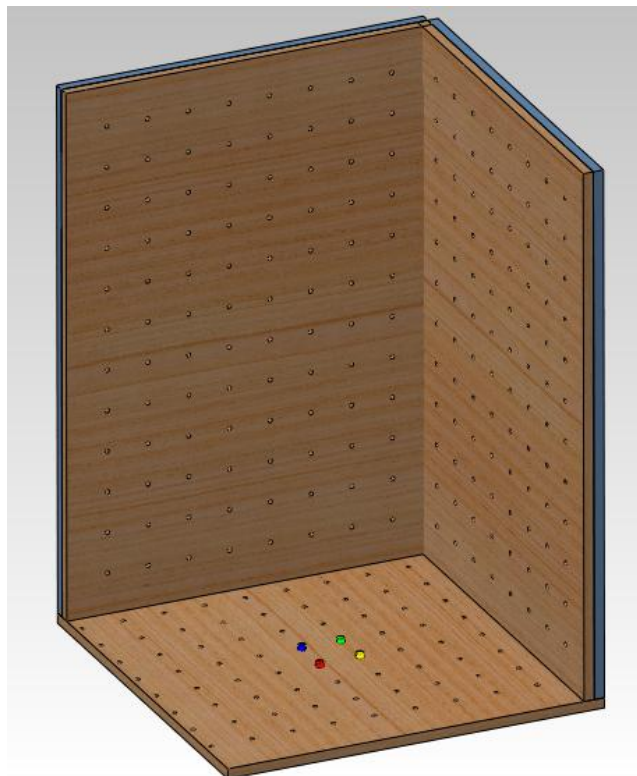
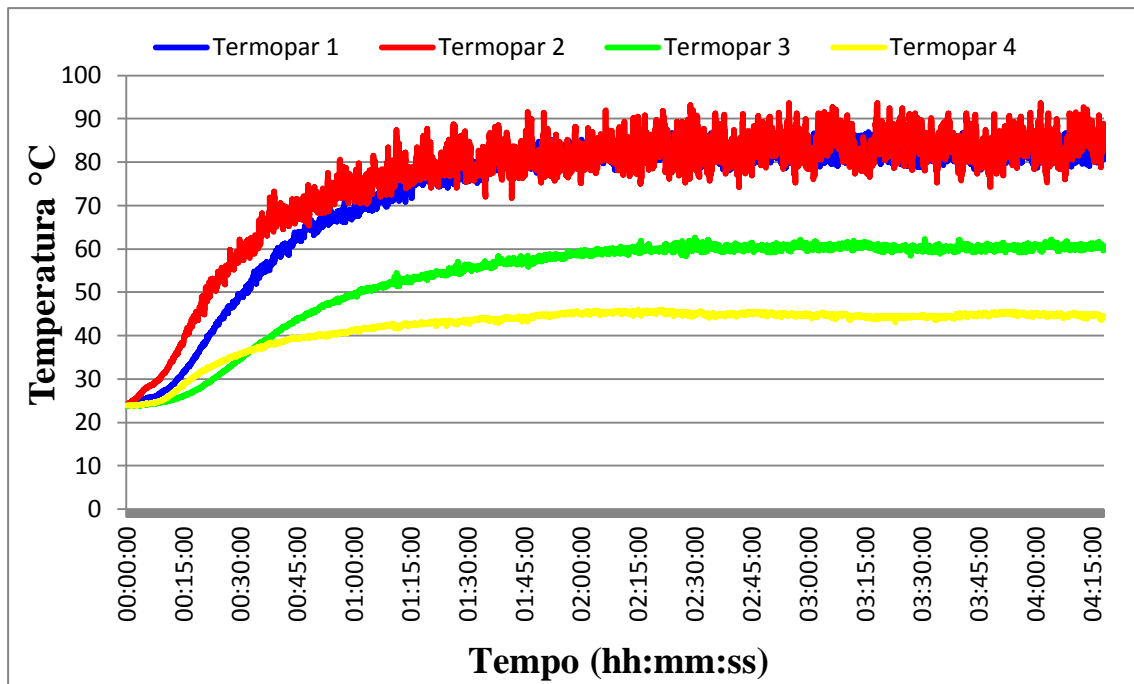


Figura 5.1 – Localização dos quatro pontos do triedro com temperaturas mais elevadas.

6. APONTAMENTOS FINAIS

6 APONTAMENTOS FINAIS

Neste capítulo estão enunciados de forma sucinta os objetivos da dissertação e o trabalho realizado para o cumprimento desses mesmos objetivos, bem como as relações que se podem retirar dos ensaios efetuados. Por fim, são apresentadas propostas para trabalhos futuros.

6.1 Conclusão

Este projeto de dissertação teve como objetivos principais o estudo do comportamento energético e ambiental de uma salamandra a pellets de 10 kW de potência térmica, produzida por um fabricante nacional. De um modo geral foram concluídos com sucesso.

Os ensaios de combustão foram efetuados segundo os requisitos e método detalhado na norma EN 14785 de 2006 aplicada a este tipo de equipamentos de aquecimento de ar ambiente que utilizam pellets. Foi necessário construir e monitorizar a instalação experimental, constituída essencialmente por uma balança para medição da massa de combustível consumida, em cima da qual, um triedro e salamandra assentam. Teve-se de adaptar a chaminé da instalação de modo a poder introduzir um termopar e sonda pirómetro de aspiração dos gases de exaustão para posterior monitorização destes parâmetros temperatura e composição dos gases durante os ensaios.

O trabalho realizado permitiu tirar as seguintes conclusões:

- O facto do funcionamento do equipamento ser totalmente automático implicou limitações na tentativa de ajustar parâmetros, como o caudal de ar de combustão e caudal de combustível, tendo sido possível, apenas, a regulação do nível de potência.
- Para todos os níveis de potência durante a fase de arranque, foram observadas emissões elevadas de poluentes, em particular de CO no momento de ignição dos pellets. As concentrações de O₂ diminuíram logo após os primeiros indícios de ignição, variando inversamente com as concentrações de CO₂. As concentrações de CO apresentam uma diminuição após estabilização da chama, apesar de ter sido observada ao longo dos ensaios uma produção bastante irregular de CO. Estes picos ocorrem com maior amplitude para as duas gamas de potência mais baixas,

resultando dos parâmetros de controlo do carregamento de pellets pré programados de fábrica. Verificou-se um longo período de tempo entre carregamentos de pellets, sendo que, quando estes eram feitos, a chama já estava a arder com baixa intensidade.

- Durante o ensaio em regime estacionário, as emissões de produtos de combustão incompleta, CO, diminuíram com o aumento da carga térmica, indicando uma melhoria das condições de combustão. As emissões gasosas estão com níveis muito elevados de concentração de oxigénio principalmente para potências baixas, o que leva a concluir que o equipamento foi desenvolvido para trabalhar em grandes níveis de potência. O valor médio registado de concentração de O₂ mais baixo ocorreu no nível P5 com aproximadamente 13%, enquanto, o mais elevado atinge valores muito próximos dos 18% no nível P1.
- A contabilização da contribuição de cada uma das perdas térmicas em separado permitiu verificar que as perdas mais significativas ocorrem ao nível das perdas térmicas pelos gases de exaustão, atingindo máximos de perdas de aproximadamente 13% no nível de potência P1. Relativamente às perdas termoquímicas pelos gases de exaustão, estas dependem em grande escala do teor de CO, variando inversamente com a sua concentração. Assim verificaram-se perdas quase desprezáveis nos níveis P3, P4 e P5, inferiores a 0,2%, e perdas mais significativas de 0,9% e 3,5% nos níveis P2 e P1, respetivamente. Uma solução para minimizar estas perdas passaria pela otimização do parâmetro caudal de ar de combustão (diminui-lo).
- Os rendimentos dos cinco níveis, três deles (P2, P4 e P5) são muito semelhantes, entre os 87% e 88%. Destaque para o nível P1 com o rendimento inferior de 83,1 %, e o nível P3 como o mais eficiente ao atingir os 91,3%.
- Os resultados obtidos apresentam significativas diferenças dos declarados pelo fabricante. Expressivas diferenças de rendimentos térmicos nos níveis de potência reduzida e nominal, declarados 96% - 93% e registados durante o ensaio em condições estáveis de 83,1% e 87,6%, respetivamente. Relativamente às temperaturas dos gases de exaustão, foram registadas temperaturas superiores às declaradas pelo fabricante. Declaradas para potência térmica reduzida e nominal 56°C e 112°C, e registadas 83°C e 175°C, respetivamente. Esta discrepância de valores pode dever-se, em parte às

diferentes condições ambiente de ensaio, as quais são desconhecidas as declaradas pelo fabricante.

- Para a potência térmica de aquecimento ambiente é declarado pelo fabricante 3,4 - 9,9 kW, contra os 1,9 - 9,1 kW registados nos ensaios do presente projeto. Esta diferença é o resultado dos diferentes valores obtidos nos ensaios para os parâmetros: massa de combustível consumida e rendimento, dos quais depende a potência térmica. A massa de combustível mínima e máxima consumida registada durante os ensaios é inferior à declarada pelo fabricante. Consumo máximo e mínimo de pellets declarado de 0,75 - 2,26 kg/h contra os 0,45 - 2,02 kg/h. Relativamente à concentração das emissões gasosas, observa-se uma grande diferença do declarado para a potência térmica reduzida (P1). É declarado pelo fabricante uma concentração de $500 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$, enquanto nos ensaios foram registados $1911 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$. Este elevado valor resulta em parte da elevada concentração de O_2 registada durante o ensaio, cerca de 18%, que ao fazer a correção da concentração de CO para os 13% de O_2 , faz com que o valor aumente brutalmente. À potência térmica nominal, o valor de $100 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$ declarado vai ao encontro do registado nos ensaios.
- A norma EN 14785 não é cumprida num dos pontos devido ao fraco desempenho ambiental do equipamento no nível de potência térmica reduzida, P1, com emissões de CO de $1911 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$ ultrapassando o limite máximo imposto pela norma de $700 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$. Relativamente aos requisitos ambientais para a potência térmica nominal estes são satisfatoriamente cumpridos, com um registo de $113 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$ muito aquém do limite máximo imposto de $500 \text{ mg/m}^3@13\%O_2$. Os requisitos mínimos de eficiência impostos pela norma são consistentemente satisfeitos à potência térmica reduzida e nominal (70% e 75%, respetivamente), atingindo 83,1% e 87,6%, respetivamente.

6.2 Trabalho Futuro

A realização deste trabalho permitiu o estudo do comportamento térmico e ambiental do equipamento tal como é comercializado. Contudo, após análise dos resultados, não só como processo de melhoria contínua do equipamento, seria desejável que algumas otimizações fossem realizadas, uma vez que este não cumpre parcialmente a norma de certificação aplicada. Por isso, algumas sugestões de trabalhos futuros são apresentadas de seguida:

- Proceder ao ajuste e estudo do caudal de ar de combustão, principalmente para os níveis P1 e P2 em que se verifica um enorme excesso de ar durante a combustão. Procurando otimizar a relação ar/ combustível.
- Otimizar o tempo de alimentação do combustível, ou seja, se é melhor grandes intervalos de espera até que o queimador volte a ser alimentado e pequenos tempos de alimentação, ou então, pouco tempo de espera mas um tempo de alimentação longo.
- Estudar uma nova configuração do permutador de calor que não seja com os tubos alinhados na vertical, procurando aumentar a eficiência do permutador diminuindo as perdas térmicas pelos gases de exaustão que tão significativas se revelaram nos ensaios.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- [1] União Europeia, Directiva 2009/28/CE - Promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, 23 de Abril de 2009.
- [2] Comissão Europeia, "The share of renewable energy in the EU", Bruxelas-Bélgica, 26 de Maio de 2004.
- [3] Comissão Europeia, "VAT Rates Applied in the Member States of the European Union", Bruxelas-Bélgica, 1 de Julho de 2011.
- [4] E. Burkhard e N. Russell, "European Wood-Heating Technology Survey: an overview of combustion principles and the energy and emissions performance characteristics of commercially available systems in Austria, Germany, Denmark, Norway, and Sweden", Wieselburg, Austria, Abril de 2010.
- [5] R. Handley, "BIOMASS BOILER&FURNACE", Junho de 2009.
- [6] EN 14785:2006, "Aparelhos domésticos para aquecimento ambiente, que utilizam granulado de madeira, requisitos e métodos de ensaio".
- [7] Dini Argeo Srl , "Weight indicators DGTQ", Disponível em:
<http://www.diniargeo.com/prd/scales/weight-indicators/dgt-series/dgtq-transmitter.aspx>., Acedido em 25 Agosto 2011.
- [8] Rauschert, "Ceramic Igniter for Solid Fuel and Wood-Pellets", Disponível em:
http://www.rauschert-tk.de/cms/front_content.php?idcat=116, Acedido em 17 Julho 2011.
- [9] AWG Elettronica S.r.l, "Scheda di potenza per Stufe a Pellets - Fire performance II"
- [10] Ecoama, "Manual de Instruções de Recuperador Héstia".

- [11] Wikipedia, "Efeito Seebeck", Disponível em:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Seebeck, Acedido em 15 Agosto 2011.

- [12] Pirométrica, "Tabela de cores internacional", Disponível em:
<http://pirometrica.com.br/index.html>, Acedido em 22 Agosto 2011.

- [13] Alutal, "Termopares Convencionais", Agosto 2006.

- [14] SIGNAL GROUP LIMITED, "9000MGA Multy Gas Analyser Operating Manual", 2003.

- [15] National Instruments, "PCI and Series User Manual", Janeiro de 1999.

- [16] National Instruments, "SCXI Thermocouple Input Modules", Agosto 2007.

- [17] National Instruments, "Installation Guide-SCXI 1300/1303 Terminal Blocks", Maio de 2000.

- [18] J. Koppejan e S. Van Loo, "The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing", London Earthscan, 2008.

- [19] F. Fiedler, "The state of the art of small-scale pellet-based heating systems and relevant regulations in Sweden, Austria and Germany", Dalarna University College, Borlange, Sweden, 2003.

Anexo A – Norma EN 14785:2006

ANEXO A - Norma EN 14785:2006


	<i>Marcação CE de conformidade, que consiste no símbolo "CE" definido na Directiva 93/68/CEE</i>
AnyCo Ltd, PO Box 21, B-1050	<i>Nome ou a marca registada e o endereço do fabricante</i>
06	<i>Os dois últimos algarismos do ano de aposição da marcação</i>
EN 14785:2006	<i>Numero da Norma Europeia</i>
Aparelho doméstico de aquecimento ambiente, com caldeira, que utiliza granulados de madeira	<i>Descrição do produto</i>
Distância a materiais combustíveis adjacentes: mínimo 140 cm	<i>e</i>
Emissão de CO nos produtos da combustão: potência térmica nominal 0,04 %, potência térmica reduzida 0,06 %	<i>Informações relativas às características regulamentadas</i>
Pressão máxima de funcionamento: 1,9 bar	
Temperatura dos produtos da combustão: 300 °C	
Potência térmica: 2,5 kW de potência de aquecimento ambiente, 7,7 kW potência de aquecimento de água	
Rendimento energético: potência térmica nominal 75 %, potência térmica reduzida 70 %	
Tipos de combustíveis: granulados de madeira, comprimento 20 mm, diâmetro 5 mm	

Figura A.1 – Exemplo de informação contida na marcação CE [7].

Parâmetro medido	Incerteza da medição
Análise dos gases	≤ 2 % do valor limite de 0,06 %
CO	≤ 2 %
CO ₂	≤ 2%
O ₂	
Temperatura	
Gases de combustão	≤ 5 K
Temperatura ambiente	≤ 1,5 K
Água	≤ 0,5 K
Superfície	≤ 2 K
Zonas acessíveis ao toque	≤ 2 K
Caudal de água	≤ 0,005 m ³ /h
Corrente de ar	≤ 0,1 m/s
Pressão estática	≤ 1 Pa
Massa	
Consumo de combustível	± 20 g
Resíduo	± 5 g
Carga de combustível ≤ 7,5 kg	± 5 g
> 7,5 kg	± 10 g
Potência eléctrica de entrada	≤ 2 W

Figura A.2 – Requisitos relativos à incerteza dos parâmetros a medir.

Teor em humidade (base como queimado) ISO 687	≤ 12 %
Teor em cinzas (base como queimado) ISO 1171	≤ 0,7 % sem casca ≤ 2,0 % com casca
Voláteis (isentos de água e cinzas) ISO 562	80 % a 88 %
Teor em hidrogénio (base como queimado) ISO 609	5,0 % a 6,5 %
Teor em carbono (base como queimado) ISO 609	40 % a 50 %
Teor em enxofre (base como queimado) ISO 351 ISO 334	≤ 0,1 %
Poder calorífico inferior (base como queimado) ISO 1928	16900 kJ/kg a 19500 kJ/kg
Diâmetro	de 4 mm a 10 mm
Índice empolamento ISO 501	---
Comprimento	≤ 50 mm

Figura A.3 – Especificações do combustível de ensaio.

Anexo B – Salamandra “Héstia”

ANEXO B – Salamandra “Héstia”

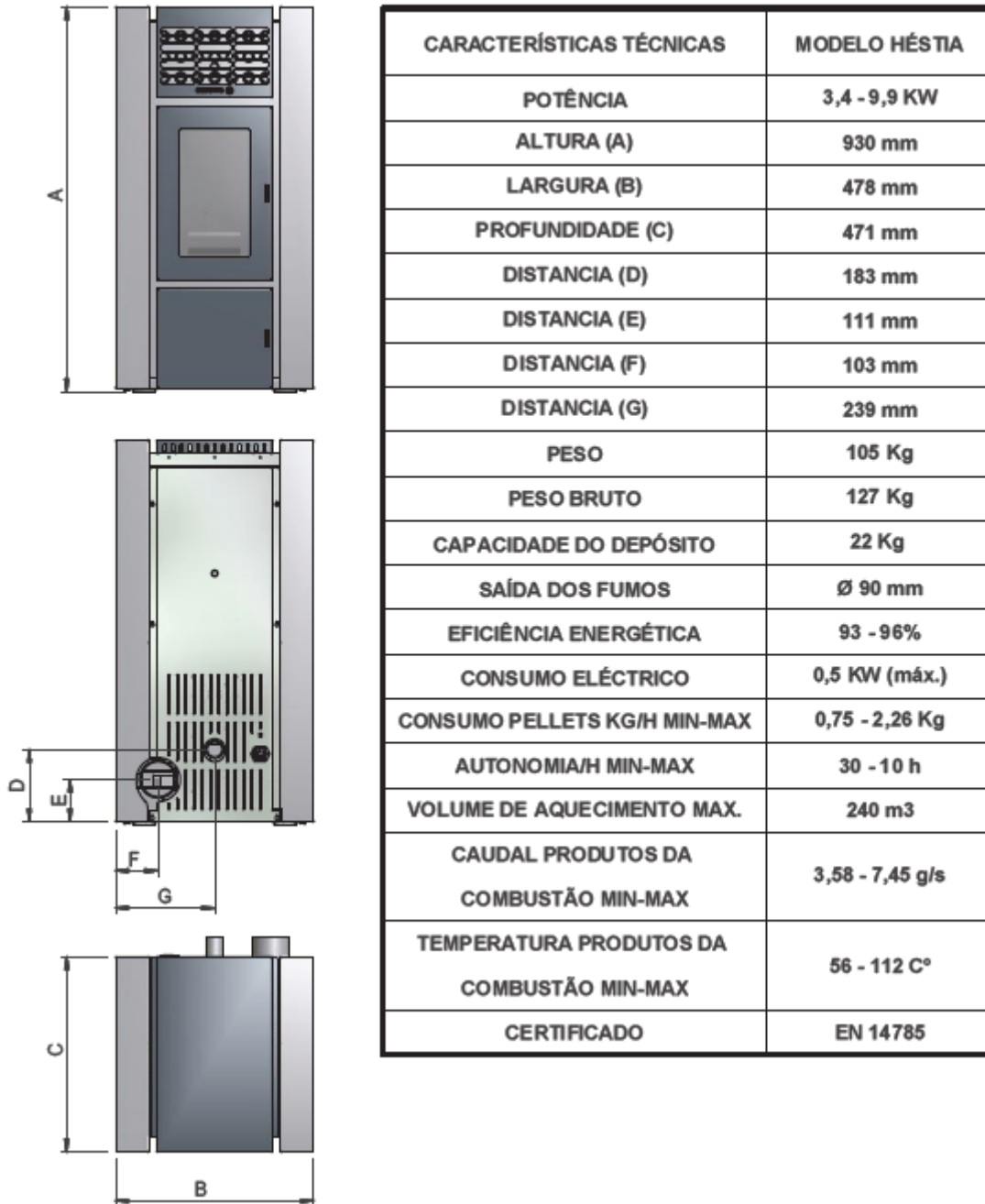


Figura B.1 – Características técnicas.


ecoama 	
Amaro Lda, Raso de Paredes, 3754-909 Águeda Portugal	
MODELO: HÉSTIA	Nº Série <input type="text"/>
	Ano de fabrico <input type="text"/>
EN 14785:2006	
Aparelho doméstico de aquecimento ambiente, que utiliza granulados de madeira.	
Distâncias a materiais combustíveis adjacentes: Mínimo 80 cm	
Emissão de CO a 13% O2 nos produtos de combustão: Potência térmica nominal 0,01 ppm, potência térmica reduzida 0,04 ppm	
Temperatura dos produtos de combustão: Potência térmica nominal 112°C, potência térmica reduzida 56°C	
Potência térmica de aquecimento ambiente: Potência térmica nominal 9,9 kW, potência térmica reduzida 3,4 kW	
Rendimento energético: Potência térmica nominal 93%, potência térmica reduzida 96%.	
Consumo energético: 230 V - 50 HZ Fase de acendimento 330 W, fase de funcionamento 150 W	
Tipo de combustível: Granulados de madeira, comprimento 20 mm, diâmetro 6 mm.	
Utilizar unicamente o combustível recomendado.	
LER E SEGUIR AS INSTRUÇÕES DE UTILIZAÇÃO. FABRICADO EM PORTUGAL	

Figura B.2 – Etiqueta de certificação.