

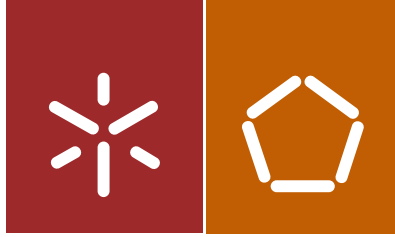


Jorge Miguel Neves Guimarães

Estudo, concepção e desenvolvimento de
equipamento de aquecimento por radiação

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Jorge Miguel Neves Guimarães

Estudo, concepção e desenvolvimento de
equipamento de aquecimento por radiação

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

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

julho de 2015

DECLARAÇÃO

Nome: Jorge Miguel Neves Guimarães

Correio electrónico: a52776@alunos.uminho.pt

Tlm.: 910706912

Número do Bilhete de Identidade 13499804 9 ZZ2

Título da dissertação:

Estudo, concepção e desenvolvimento de equipamento de aquecimento por radiação

Ano de conclusão: 2015

Orientador:

Professor Doutor Eurico Augusto Rodrigues de Seabra

Designação do Mestrado:

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Estruturas

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Engenharia Mecânica

De acordo com a legislação em vigor, não é permitida a reprodução de qualquer parte desta dissertação.

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

Em memória do Marito e Tio Abílio

AGRADECIMENTOS

Professor Doutor Eurico Seabra pela orientação, apoio e esclarecimentos prestados durante este projeto.

Doutor António José Ramos Silva pelo apoio prestado na realização dos testes com a câmara termográfica.

Professora Doutora Maria José Abreu do Departamento de Engenharia Textil por todo o apoio e ajuda prestada para a utilização da câmara adiabática, para realização de testes térmicos.

Engenheiro Pedro Ribeiro por todo o apoio e ajuda prestados no dimensionamento térmico do equipamento.

Engenheiro Vitor Carneiro por todo o apoio prestado no dimensionamento estrutural do equipamento.

Aos meus pais e ao meu irmão por todo o apoio prestado na realização deste projeto.

À minha namorada, Clara Cunha, por todo o apoio e força que me deu durante este percurso académico, especialmente nesta reta final.

Engenheiro Cristiano Carvalho, antigo aluno deste Departamento, por toda a ajuda e apoio prestado nesta fase final, nomeadamente no trabalho em SolidWorks, durante o percurso académico e especialmente pela amizade que criamos ao longo destes anos.

Engenheira Liliana, investigadora no CVR – Centro para valorização de resíduos, pela ajuda prestada quando a câmara adiabática insistia em não funcionar corretamente.

Aos meus colegas de curso que tornaram a minha vida académica numa das melhores experiências que já tive, principalmente ao Gaspar Oliveira, Tiago Rodrigues, André Ferreira, Diogo Esteves, Tiago Vilaça, Vitor Carneiro, entre outros.

À Anergii, empresa onde foi desenvolvida a dissertação, especialmente pelo apoio dado ao longo do desenvolvimento da mesma e pelas experiências que lá passei.

Aos meus amigos de Caldas das Taipas, especialmente ao Micael Pontes por toda a amizade e apoio concebido ao longo destes anos.

Ao casal Cristiano Carvalho e Catarina Fernandes, futuros marido e mulher, por toda a amizade nos momentos mais difíceis.

Ao GCII – Gabinete de Comunicação, Informação e Imagem pelos fantásticos momentos passados no Verão no Campus e nas Feiras e a todos os meus colegas que participaram diretamente comigo nessas atividades.

A todos aqueles que não foram mencionados mas que tiveram impacto direto ou indireto na concretização deste projeto.

Às meninas da secretaria do Departamento de Engenharia Têxtil, Carla Sousa e Maria José, pela “seca” levada quanto eu ia buscar as chaves do laboratório de Física Têxtil.

D. Sandra e D. Luísa, secretárias do Departamento de Engenharia Mecânica, por todas as informações prestadas acerca da disponibilidade dos professores e outro tipo de informações.

Ao Professor Doutor Amaral Nunes, antigo docente do Departamento de Engenharia Mecânica, pela ajuda prestada para a realização dos testes térmicos na câmara adiabática.

RESUMO

Esta dissertação de mestrado estuda e desenvolve um novo equipamento de aquecimento por radiação. Esta, encontra-se dividida em vários capítulos, sendo que no estado da arte são apresentados os tipos de equipamentos de aquecimento existentes, dando ênfase à tecnologia de aquecimento que cada um usa, os equipamentos de aquecimento por radiação existentes, salientando o seu preço. Em cada equipamento de aquecimento existente, serão apresentadas as vantagens e desvantagens que cada um apresenta ao utilizador. Serão também apresentadas os processos de fabrico desses equipamentos.

Foi realizada toda a modelação 3D do equipamento e os seus desenhos técnicos. Foi comparado o custo de obtenção deste novo equipamento com os já existentes no mercado. Foi apresentada a manutenção do equipamento estudado e o seu método de funcionamento.

Foi realizado o dimensionamento térmico do perfil desenvolvido, em modo simplificado, e uma possível otimização. Foram realizados testes térmicos numa câmara adiabática ao equipamento e a dois outros equipamentos comuns no mercado do aquecimento, o radiador a óleo e o radiador elétrico convencional, ou radiador seco. Os resultados obtidos foram comparados tendo em conta a temperatura em vários pontos da câmara, através de sondas térmicas, a humidade relativa no interior da câmara e o custo para obter uma determinada temperatura e mantê-la durante 36 horas. Foi também realizado o dimensionamento estrutural das alhetas do perfil, sendo que este estudo também foi simplificado. Em seguida realizaram-se simulações de carga às alhetas do perfil e um droptest no *software SolidWorks*.

ABSTRACT

This master thesis studies and develops a new heating equipment by irradiation. This, is divided into several chapters, where the state of the art shows the types of heating equipment provided, giving emphasis to the heating technology each one uses, the existing irradiation heating equipments, emphasizing its price. Will be presented the advantages and disadvantages that each heating equipment has. It will also be presented the manufacturing processes of these equipments. The 3D modeling of the entire equipment and its technical drawings were performed. The cost of obtaining this new equipment compared with the ones already on the market will be presented. It will also be presented the maintenance and operation method of this new heating equipment.

The thermal dimensioning of the profile of the heating device, which was developed in a simplified manner, will be presented and also a possible optimization of this profile. Thermal tests were conducted in an adiabatic chamber to the equipment developed and two other common equipment in the heating market, the oil radiator and electric conventional radiator or dry radiator. The results obtained were compared taking into account the temperature at various points of the chamber, through thermal probes, the relative humidity inside the chamber and the electricity cost to have a determined temperature inside the chamber and maintaining it for 36 hours. It was also carried out the structural design of the profile fins and this study was also simplified. Then, load simulations were made to the profile fins and also a droptest to the equipment. This simulations were made in SolidWorks software.

NOMENCLARUTA

Símbolo	Significado	Unidades
k	Condutividade térmica	W/m°C
A	Área superficial	m ²
ΔT	Diferença de temperatura	°C
Δx	Espessura	m
h	Coefficiente de transferência de calor	W/m ² °C
T_s	Temperatura da superfície	°C
T_∞	Temperatura ambiente	°C
L	Comprimento	m
Ra	Número de Rayleigh	
Gr	Número de Grashof	
Pr	Número de Prandtl	
Re	Número de Reynolds	
U_∞	Velocidade na fronteira	m/s
δ	Comprimento característico da geometria	M
ν	Viscosidade cinemática	m ² /s
ε	Emissividade do material	
σ	Constante de Stefan-Boltzman	W/m ² K ⁴
k_{pc}	Valor do sentimento de dor	cal ² /cm ⁴ °C ² s
g	Aceleração da gravidade	m/s ²
β	Coefficiente de dilatação térmica	
w	Espessura das alhetas	m
P_{Tcv}	Potência térmica de convecção dos cinco perfis	W
P_{cv}	Potência térmica de convecção de um perfil	W

P_{Tr}	Potência térmica de radiação dos cinco perfis	W
P_r	Potência térmica de radiação de um perfil	W
σ	Tensão de cedência	MPa
F_x	Força aplicada à flexão	N
h	Espessura	M
I	Inércia	m ⁴
b	Comprimento do perfil	mm
F_y	Força aplicada à compressão	N
E	Módulo de elasticidade	GPa

ÍNDICE

Agradecimentos.....	i
Resumo	iii
Abstract	v
Nomenclatura	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Índice de Gráficos	xvii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Motivação	3
1.3 Especificações Iniciais.....	3
1.4 Justificação do tema/enquadramento	4
1.5 Estrutura da dissertação	4
2 Estado da arte.....	7
2.1 Transferência de calor.....	7
2.1.1 Condução	7
2.1.2 Convecção.....	8
2.1.3 Radiação	9
2.2 Sistemas termodinâmicos	10
2.3 <i>Norma IEC 60335-1</i>	10
2.3.1 Estudo da <i>NASA</i>	11
2.3.2 Estudo <i>Commission de la Sécurité des Consommateurs</i>	12
2.4 Equipamentos de aquecimento	13
2.4.1 Equipamentos de aquecimento por convecção forçada	14
2.4.2 Equipamentos de aquecimento por radiação	17
2.4.3 Equipamentos de aquecimento por radiação e convecção natural.....	19
2.5 Equipamento projetado	23
2.5.1 <i>PTC – Positive temperature coefficient</i>	24

2.5.2	<i>NTC – Negative temperature coefficient</i>	25
2.5.3	Regulação proporcional.....	25
2.5.4	Tecnologias de fabrico	25
2.6	Equipamentos de aquecimento que usam PTC.....	26
3	Conceção do equipamento.....	27
3.1	Equipamento	27
3.1.1	Modelação 3D do perfil	27
3.1.2	Modelação 3D das tampas superiores, laterais e traseiras	29
3.1.3	Modelação 3D das peças para fixação.....	31
3.1.4	Otimização do perfil	32
3.1.5	Montagem	33
3.2	Componentes eletrónicos não modelados.....	37
3.2.1	Controller Board	37
3.2.2	Sensores térmicos	38
3.2.3	Controlador digital	38
3.3	Lista de componentes e custo de obtenção	39
3.4	Custo de venda comparado com o mercado.....	40
3.5	Funcionamento.....	40
3.6	Manutenção.....	41
3.7	Resumo	41
4	Projeto detalhado	43
4.1	Dimensionamento térmico	43
4.1.1	Câmara adiabática.....	48
4.1.2	Resultados obtidos.....	52
4.2	Dimensionamento estrutural	72
4.2.1	Pressão nas alhetas.....	72
4.2.2	DropTest	75
5	Comparação e discussão de resultados	79
6	Conclusões e trabalhos futuros.....	87
6.1	Trabalhos futuros.....	88
7	Bibliografia.....	91

Anexos..... 93

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1 - Ventilador</i>	14
<i>Figura 2-2 - Elemento interior Daikin</i>	15
<i>Figura 2-3 - Elemento exterior Daikin</i>	15
<i>Figura 2-4 - Ciclo da bomba de calor</i>	15
<i>Figura 2-5 - Bomba de calor Altherm Daikin</i>	16
<i>Figura 2-6 - Esquema de funcionamento Recuperador de calor, Solzaima</i>	18
<i>Figura 2-7 - Piso radiante</i>	19
<i>Figura 2-8 - Radiador convencional Haverland</i>	19
<i>Figura 2-9 - Radiadores hidráulicos</i>	20
<i>Figura 2-10 - Funcionamento de uma caldeira</i>	21
<i>Figura 2-11 - Radiador a óleo e os seus componentes</i>	22
<i>Figura 2-12 - Radiador seco</i>	23
<i>Figura 2-13 - PTC</i>	24
<i>Figura 2-14 - Funcionamento da PTC</i>	24
<i>Figura 2-15 - NTC</i>	25
<i>Figura 2-16 - Funcionamento do NTC</i>	25
<i>Figura 2-17 - Ventiladores com PTC</i>	26
<i>Figura 3-1 - Perfil do protótipo</i>	28
<i>Figura 3-2 - Temperaturas superficiais dos equipamentos</i>	28
<i>Figura 3-3 - Temperatura superficial, obtido do Software da câmara termográfica</i>	29
<i>Figura 3-4 - Tampa metálica superior e inferior</i>	29
<i>Figura 3-5 - Tampa lateral</i>	30
<i>Figura 3-6 - Cantos do equipamento</i>	30
<i>Figura 3-7 - Tampa traseira</i>	30
<i>Figura 3-8 - Chapa de fixação das tampas superior e inferior</i>	31
<i>Figura 3-9 - Adaptador para ligação da tampa traseira à lateral</i>	31
<i>Figura 3-10 - Peça para realização de Clinching nas tampas laterais</i>	32
<i>Figura 3-11 - Adaptador traseiro</i>	32
<i>Figura 3-12 - Perfil otimizado</i>	33
<i>Figura 3-13 - Acoplamento de perfis</i>	33
<i>Figura 3-14 - Acoplamento das tampas laterais</i>	34
<i>Figura 3-15 - Acoplamento do adaptador para Clinching</i>	34
<i>Figura 3-16 - Acoplamento dos adaptadores da tampa traseira</i>	35
<i>Figura 3-17 - Inserção da PTC e dos componentes eletrónicos</i>	35
<i>Figura 3-18 - Acoplamento das chapas para tampas superiores</i>	36
<i>Figura 3-19 - Acoplamento das tampas superiores</i>	36
<i>Figura 3-20 - Acoplamento dos cantos</i>	37
<i>Figura 3-21 - Controller Board</i>	37

<i>Figura 3-22 - Sensor térmico.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3-23 - Controlador Digital.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4-1 - Página inicial do software de gestão da câmara.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4-2 - Sondas térmicas.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4-3 - Humidificador da Carel.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4-4 - Esquema da câmara adiabática.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 4-5 - Disposição das sondas ST2 e ST5.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4-6 - Disposição das sondas ST1, ST3, ST4 e ST6.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4-7 - Radiador da Jocel 1500W.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4-8 - Radiador Série SC da Calthermic.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 4-9 - Concept.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4-10 - Simulação de peso nas alhetas.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4-11 - Estruturação para a simulação de peso nas alhetas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4-12 - Plane Stress - Deslocamento.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4-13 - Plane Strain - Deslocamento.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4-14 - Radiador Simplificado para Drop Test.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4-15 - Malha para a realização do Drop Test.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4-16 - Deslocamento máximo.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4-17 - Tensão máxima.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4-18 - Zona da tensão média registada.....</i>	<i>78</i>

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 2-1 - Constantes de casos quentes.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 2-2 - Ventiloinvector.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabela 2-3 - Ar condicionado.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2-4 - Bomba de calor.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 2-5 - Lareira.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2-6 - Piso radiante.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 2-7 - Radiador convencional elétrico.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabela 2-8 - Radiador convencional hidráulico.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 2-9 - Radiador a óleo.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabela 2-10 - Radiador Seco.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabela 3-1 - Componentes necessários para fabrico de um equipamento com 5 perfis.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 3-2 - Comparação de valores de aquisição de equipamentos de aquecimento elétrico.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabela 4-1 - Condições iniciais dos ensaios.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 4-2 - Temperatura das Sondas, Radiador a óleo.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 4-3 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador a óleo.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 4-4 - Temperatura das Sondas, Radiador Seco.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 4-5 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador Seco.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 4-6 - Temperatura das Sondas, Radiador Seco Controller board.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 4-7 - Temperatura e Humidade da Câmara, Radiador Seco Controller board.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 4-8 - Temperaturas das Sondas, Concept.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 4-9 - Temperatura e Humidade da Câmara, Concept.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabela 4-10 - Temperatura das Sondas, Concept Controller board.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabela 4-11 - Temperatura e Humidade da Câmara, Concept Controller board.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 4-12 - Características da malha gerada.....</i>	<i>76</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 2-1 - Limite de temperatura ao toque</i>	<i>12</i>
<i>Gráfico 4-1 - Temperatura das Sondas, Radiador a óleo</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 4-2 - Temperatura média medida pelas sondas, Radiador a óleo</i>	<i>55</i>
<i>Gráfico 4-3 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador a óleo</i>	<i>56</i>
<i>Gráfico 4-4 - Consumo, Radiador a óleo.....</i>	<i>57</i>
<i>Gráfico 4-5 - Temperatura das Sondas, Radiador Seco</i>	<i>59</i>
<i>Gráfico 4-6 - Temperatura média medida pelas sondas, Radiador Seco</i>	<i>59</i>
<i>Gráfico 4-7 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador Seco</i>	<i>60</i>
<i>Gráfico 4-8 - Consumo, Radiador Seco</i>	<i>61</i>
<i>Gráfico 4-9 - Temperatura das sondas, Radiador Seco Controller board.....</i>	<i>62</i>
<i>Gráfico 4-10 - Temperatura média medida pelas sondas, Radiador Seco Controller board</i>	<i>62</i>
<i>Gráfico 4-11 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador Seco Controller board.....</i>	<i>63</i>
<i>Gráfico 4-12 - Consumo, Radiador Seco Controller board.....</i>	<i>64</i>
<i>Gráfico 4-13 - Temperatura das sondas, Concept.....</i>	<i>66</i>
<i>Gráfico 4-14 - Temperatura média medida pelas sondas, Concept</i>	<i>66</i>
<i>Gráfico 4-15 - Temperatura e Humidade na câmara, Concept.....</i>	<i>67</i>
<i>Gráfico 4-16 - Consumo, Concept.....</i>	<i>68</i>
<i>Gráfico 4-17 - Temperatura das sondas, Concept Controller board.....</i>	<i>69</i>
<i>Gráfico 4-18 - Temperatura média medida por cada sonda, Concept Controller board.....</i>	<i>70</i>
<i>Gráfico 4-19 - Temperatura e Humidade da Câmara, Concept Controller board.....</i>	<i>71</i>
<i>Gráfico 4-20 - Consumo, Concept Controller board.....</i>	<i>71</i>
<i>Gráfico 5-1 - Temperaturas médias das sondas.....</i>	<i>79</i>
<i>Gráfico 5-2 - Desvio da temperatura desejada.....</i>	<i>79</i>
<i>Gráfico 5-3 - Temperatura máxima registada em cada sonda</i>	<i>80</i>
<i>Gráfico 5-4 - Consumos totais para 36h e temperatura média da câmara</i>	<i>80</i>
<i>Gráfico 5-5 - Temperaturas médias das sondas, Controller board</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 5-6 - Desvio da temperatura desejada, Controller board.....</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 5-7 - Temperatura máxima registada em cada sonda, ON/OFF.....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 5-8 - Consumos totais para 24 horas.....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 5-9 - Evolução da Humidade relativa condições normais.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 5-10 - Evolução da Humidade relativa para a mesma controller board</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 5-11 - Tempo necessário para atingir os 20°C</i>	<i>84</i>
<i>Gráfico 5-12 - Tempo necessário para atingir os 23°C</i>	<i>84</i>

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento é um bem cada vez mais necessário nos dias de hoje. Quando as temperaturas exteriores baixam consideravelmente, no Outono ou no Inverno, torna-se necessário chegarmos a casa e depararmo-nos com a uma temperatura ambiente agradável, de modo a que o desconforto exterior, devido a baixas temperaturas, não se sinta no interior da própria casa. Deste modo, como tema de Dissertação, foi proposto o Estudo, Desenvolvimento e Concepção de um novo equipamento de aquecimento por radiação. A Dissertação foi desenvolvida em conjunto com a empresa *Anergii*, que se encontra sediada no *AvePark – Parque de ciência e tecnologia SA, em Barco, Guimarães*.

Um sistema de aquecimento inclui necessariamente, uma fonte de calor com uma temperatura mais elevada que o espaço a ser aquecido. Assim, o emissor de calor permite uma troca de energia térmica entre a fonte de calor e o objeto, o material ou o espaço a ser aquecido. Este emissor pode ser estático ou dinâmico. No primeiro caso, o emissor transmite o calor por convecção e/ou radiação. O segundo caso é através de um ventilador incorporado que este transmite o calor para o meio ambiente através da circulação do ar, utilizando essencialmente o ar como forma de troca térmica.

Para garantir a proteção do meio-ambiente e uma melhor utilização da energia, os sistemas de aquecimento devem integrar certos parâmetros técnicos que hoje são globalmente ignorados:

- Área de troca
- Redução dos níveis de energia
- ΔT reduzido
- Produção do calor irradiante infravermelho de baixa temperatura
- Gestão energética/térmica com regulação proporcional inteligente

O uso da radiação no aquecimento é uma metodologia pouco utilizada, sendo que a mais utilizada é a convecção, podendo esta ser forçada ou natural, como se pode verificar por uma simples pesquisa na internet.

Esta metodologia de aquecimento pouco utilizada possui uma grande margem de desenvolvimento e investigação, sendo que alguns países da Europa apostam cada vez mais neste tipo de aquecimento devido aos seus benefícios, como uma temperatura mais uniforme evitando a estratificação de ar quente junto do teto, ΔT reduzido e à não queima do oxigénio devido às elevadas temperaturas do equipamento de aquecimento.

As vantagens da radiação por infravermelhos não se ficam por estes dois casos apresentados, sendo que podem ser alargados ao departamento médico, uma vez que os médicos já desenvolvem terapias de infravermelhos há mais de 80 anos. Deste modo, vários estudos clínicos realizados, confirmam os benefícios do calor irradiante, sendo que cada vez mais médicos os reconhecem. As suas vantagens no departamento médico são numerosas, tais como, o relaxamento e abrandamento das dores musculares e articulares.

O nosso corpo é constituído por 90% de água, um elemento que absorve facilmente o calor irradiante dos infravermelhos e que aquece rapidamente as camadas superficiais da pele enquanto que as camadas sob cutâneas e os tecidos musculares são aquecidos indiretamente pelo sangue que faz ofício de regulador térmico.

Apesar de ser uma tecnologia em estado bastante embrionário, o aquecimento por radiação está presente no dia-a-dia das pessoas, quer seja pelo nosso corpo que emite também radiação infravermelha proveniente da nossa temperatura corporal, ou pela absorção de radiação emitida pelo sol.

1.1 Objetivos

Como o próprio nome da dissertação indica, os principais objetivos, são o estudo, desenvolvimento e conceção de um equipamento de aquecimento por radiação, combatendo alguns fatores dos que a concorrência utiliza, desde o uso de resistências convencionais, ao aquecimento de um líquido no interior no radiador para aquecimento da superfície do mesmo.

Para um correto estudo, torna-se necessário saber ao certo o que já existe no mercado e como funcionam. Também deve-se realizar um estudo de como funciona a radiação quando comparada com a convecção.

Os objetivos para o correto desenvolvimento e conceção são enumerados em seguida:

1. Realização dos desenhos técnicos do equipamento;
2. Análise estrutural de cada perfil do equipamento, analisando as suas alhetas para saber se esta suportam uma determinada pressão de 150 kg;
3. Realização de um droptest ao equipamento;
4. Realização de testes de aquecimento ao equipamento numa câmara adiabática, sendo este equipamento fornecido pela *Anergii* (protótipo);
5. Análise de custos de consumo de energia dos testes realizados na câmara adiabática.

1.2 Motivação

A principal motivação prende-se com a oportunidade de estudar e desenvolver um equipamento de aquecimento que ainda não existe no mercado em parceria com uma empresa, enaltecendo os conhecimentos de Engenharia Mecânica bem como os conhecimentos de uso de um Software CAD relevantes para um desenvolvimento de um projeto mecânico. Também a possibilidade de realizar os testes térmicos com um protótipo físico e analisar os valores obtidos, comparando-os com equipamentos convencionais já existentes no mercado concluindo que o produto desenvolvido é realmente uma mais-valia para o mercado.

A principal motivação foi a possibilidade de ser inserido num projeto pioneiro no mercado e que possui grande margem de evolução, quer seja a nível de produto, como a nível pessoal como futuro Engenheiro Mecânico. Como foi mencionado anteriormente, na Europa, alguns países já começam a utilizar a radiação como método de aquecimento, sendo que em Portugal esta metodologia não é muito utilizada, dando assim ainda mais importância a este projeto de modo a garantir que em Portugal ou no Mundo, as pessoas possam ser elucidadas das vantagens que a radiação possui e principalmente as vantagens que o produto desenvolvido apresenta.

Assim, com tudo o que foi referido anteriormente, a motivação empregue num trabalho destes será proporcional à dimensão do projeto.

1.3 Especificações Iniciais

Foi sugerido que o equipamento desenvolvido tivesse um design inovador e nunca antes visto no mercado, contornando assim o design de um radiador convencional com perfis retangulares e planos. Além do design inovador, o equipamento teria que ser de fácil obtenção e na liga de alumínio Al6060-T5, sendo esta liga uma liga específica para extrusão, método de obtenção do perfil do equipamento.

O perfil desenvolvido não devia apresentar um comprimento maior que 500 mm e largura devia ser menor que 150 mm, devendo ser desenvolvido de modo a que a montagem total do equipamento não utilize um único parafuso.

Através da fonte de aquecimento a utilizar, a temperatura de superfície do perfil nunca devia ultrapassar a temperatura especificada na *Norma IEC 60335-1* que está fixa nos 80°C, temperatura esta que não é a verificada, sendo sempre superior, em grande parte dos equipamentos de aquecimento existentes no mercado.

1.4 Justificação do tema/enquadramento

Este tema enquadra-se perfeitamente numa dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, devido a todo o projeto realizado por trás do produto final, desde desenhos CAD, passando por análises estruturais, droptest, aplicação de conhecimentos na área da transferência de calor e a nível estrutural.

Também se torna necessária a aplicação de conhecimentos a nível de análise de dados com a realização de testes na câmara adiabática, sendo necessário recolher dados fornecidos pelo software de medição da câmara e em seguida tratá-los de forma a tornar a sua leitura mais fácil para facilidade de leitura por cada pessoa.

Com a aplicação dos conhecimentos obtidos ao longo destes anos foi permitido alargar os conhecimentos relativamente a algumas áreas e a participação neste projeto motivou o relator para fazer o melhor que sabia pois um projeto desta dimensão é sempre bastante interessante a nível académico como pessoal.

1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação desenvolvida foi dividida em vários capítulos distintos, sendo que cada um deles tem uma especificação diferente do anterior. Estes capítulos foram escritos tendo em conta a realização do projeto. Na escrita, apesar de alguns capítulos serem distintos, a realização destes foi feita em simultâneo, como é o caso dos testes mecânicos realizados às alhetas do perfil e os testes térmicos realizados na câmara adiabática.

Para estruturar corretamente a dissertação, foi utilizado o seguinte esquema:

- Numa fase pioneira do projeto foi necessário realizar uma pesquisa de campo de modo a obter uma ideia dos equipamentos existentes no mercado assim como o seu modo de funcionamento. Também foi realizada uma pesquisa relacionada com as normas a respeitar para que o equipamento desenvolvido não falhasse relativamente à segurança do utilizador. Após esta pesquisa, foram comparados os vários equipamentos existentes assim como as vantagens que cada um apresenta perante o utilizador final.
- No capítulo 3, será apresentado um teste de temperatura superficial realizado num laboratório da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto com uma câmara termográfica que levou a considerar uma otimização do perfil. Após a visita, foi executado o projeto que albergou a modelação 3D de todo o equipamento protótipo já existente na *Anergii* e da otimização já considerada, um esquema de montagem, os custos de obtenção

de cada componente e o custo final para obter um radiador com cinco perfis comparando o preço de venda com a concorrência. É também explicado o modo de funcionamento do radiador e a sua manutenção.

- No capítulo 4, serão apresentados todos os resultados dos cálculos térmicos realizados ao perfil desenvolvido e comparados com os resultados do perfil que a empresa *Anergii* já possuía. São também apresentados os resultados obtidos nos testes térmicos realizados ao protótipo e comparados com os testes realizados aos dois outros equipamentos testados, um radiador a óleo e um radiador elétrico convencional de parede. Num ponto mais avançado deste capítulo são apresentados os cálculos estruturais ao perfil, uma simulação de pressão realizada às alhetas, uma simulação de torção realizado ao perfil e um droptest realizado ao equipamento final simulando uma queda dos apoios de parede, aproximadamente 100mm do chão. Para a realização do droptest, o equipamento desenvolvido foi simplificado para facilidade de obtenção de resultados.
- No capítulo 5 serão analisados todos os resultados obtidos e realizada uma discussão detalhada dos mesmos.
- No capítulo final, serão retiradas as conclusões de todo o trabalho desenvolvido e apresentadas propostas para trabalhos futuros do tema.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será realizada uma introdução teórica ao tema da dissertação, dando ênfase à transferência de calor e transformações termodinâmicas. Posteriormente, serão explicados os pontos mais importantes relativos à *Norma IEC 60335-1* aquando à concepção de um equipamento de aquecimento. Numa parte mais avançada deste capítulo, serão apresentados todos os equipamentos de aquecimento já existentes no mercado, sendo como objectio, dividi-los pelo tipo de transferência de calor que realizam e tipo de energia utilizada. No final deste capítulo, serão explicados alguns pontos importantes para a compreensão desta dissertação relativos ao equipamento desenvolvido. Num capítulo mais avançado, os equipamentos apresentados serão analisados a nível de custos de obtenção, manutenção e eficiência, comparando com o equipamento desenvolvido.

2.1 Transferência de calor

Transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço [1, 2]. Com esta definição de transferência de calor, facilmente pode-se concluir que quando existe uma diferença de temperaturas entre dois corpos, num meio, existe transferência de calor. A transferência de calor pode-se realizar através de três modos distintos: a Condução, a Convecção e a Radiação. A importância em perceber cada um destes tipos de transferência de calor provém do facto de que os diferentes equipamentos de aquecimento, realizam esta transferência de calor de diferentes modos.

2.1.1 Condução

A Condução é a transferência de energia entre átomos ou moléculas num sólido, líquido ou gás [1]. Nos líquidos ou gases, a condução provém da colisão e difusão entre moléculas durante o seu movimento, enquanto que nos sólidos, é devido à combinação de vibração das moléculas e ao transporte de energia de electrões livres [1]. Um exemplo prático deste fenómeno é a colocação de uma garrafa com água a 10°C numa sala a 20°C, com o passar do tempo, a temperatura da água vai-se elevar para os 20°C devido à transferência de calor entre o ar da sala e a água através da garrafa. A equação para se obter transferência de calor através de condução é conhecida pela *Lei de Fourier*.

$$Q_{cond} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Em que:

- k é a condutividade térmica do material, $W/m^{\circ}C$
- A é a área superficial, m^2
- ΔT é a diferença de temperaturas entre as superfícies, $^{\circ}C$
- Δx é a espessura, m

A condutividade térmica de um material pode ser definida como a taxa de transferência de calor através de uma unidade de espessura por unidade de área, por unidade de diferença de temperatura [1].

2.1.2 Convecção

A Convecção e Condução, são dois modos de transferência de calor que estão ligados entre si. Estando a convecção diretamente associada ao escoamento de um fluido sobre uma superfície livre [3], troca de energia da superfície com o ambiente, esta superfície realizou trocas de energia ao longo da sua espessura, através de condução. A transferência de calor por convecção obedece à *Lei de Newton*.

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Onde:

- h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, $W/m^2^{\circ}C$
- A é a área superficial de transferência de calor, m^2
- T_s é a temperatura da superfície, $^{\circ}C$
- T_{∞} é a temperatura ambiente, $^{\circ}C$

O coeficiente de transferência de calor por convecção é normalmente determinado através do *Número de Nusselt*.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (3)$$

Em que:

- L é o comprimento, m
- k é a condutividade térmica do material, $W/m^{\circ}C$

Para se obter o *Número de Nusselt* corretamente, é necessário saber se a convecção existente é convecção natural ou convecção forçada.

A. Convecção Natural

A convecção natural é quando a velocidade de deslocamento do fluido ocorre através de meios naturais tais como a flutuabilidade, tornando assim a percepção da velocidade de deslocamento do fluido nula [1]. Para a correta determinação do *Número de Nusselt* na convecção natural, utiliza-se o *Número de Rayleigh*.

$$Ra = Gr \times Pr \quad (4)$$

Onde:

- Gr é o *Número de Grashof*
- Pr é o *Número de Prandtl*

Como o equipamento desenvolvido opera por convecção natural, as equações para determinar o *Número de Grashof* e o *Número de Prandtl* são utilizadas num capítulo mais avançado.

B. Convecção Forçada

A convecção forçada é quando um fluido é forçado a deslocar-se por uma superfície ou tubo, através do uso de uma ventoinha ou bomba. Para a determinação do *Número de Nusselt* na convecção forçada, utiliza-se o *Número de Reynolds*.

$$Re = \frac{U_{\infty} \delta}{\nu} \quad (5)$$

Onde:

- U_{∞} é a velocidade na fronteira livre, m/s
- δ é o comprimento característico da geometria, m
- ν viscosidade cinemática (μ/ρ), m²/s

Apesar do uso de convecção forçada ou natural, o ar aquecido apresentará uma menor densidade, resultando numa subida do mesmo. Deste modo, devido à estratificação do ar, diferentes temperaturas em diferentes camadas, o ar quente irá, maioritariamente, alojar-se junto do teto, existindo, assim, um diferencial de temperatura entre o teto e o chão.

2.1.3 Radiação

A Radiação consiste num corpo quente que liberta energia sob a forma de radiação eletromagnética, sendo que esta radiação apresenta um comprimento de onda mais vasto que a luz visível [2]. Ao contrário dos dois modos de transferência de calor anteriormente mencionados, a Radiação não necessita de meio.

Este tipo de transferência de calor depende muito da diferença de temperatura entre a superfície e o meio ambiente e pode ser determinada através da relação de *Stefan-Boltzman*.

$$Q_{rad} = \varepsilon A \sigma (T_0^4 - T_1^4) \quad (6)$$

Onde:

- ε é a emissividade do material
- A é a área superficial que realiza radiação, m²
- σ é a constante de *Stefan-Boltzman*, $5,67 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴
- T_0 é a temperatura superficial, K
- T_1 é a temperatura ambiente, K

2.2 Sistemas termodinâmicos

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, foi utilizada uma câmara adiabática para a realização de ensaios térmicos ao equipamento desenvolvido e outros dois equipamentos. De forma a ser compreensível como funciona a câmara é necessário perceber como funciona um sistema adiabático.

Na termodinâmica existem vários tipos de sistemas [4, 5]:

- A. Sistema Fechado, que é um sistema que não realiza trocas de matéria com o meio exterior.
- B. Sistema Aberto, que permite a troca de matéria com o exterior.
- C. Sistema Isolado, que é um sistema que não permite trocas de energia nem matéria com outro sistema ou com o exterior.
- D. Sistema Adiabático, é um sistema termicamente isolado do exterior.
- E. Sistema Homogéneo, é um sistema onde só está presente uma fase, por exemplo um sistema só com presença de ar.
- F. Sistema Heterogéneo, é um sistema que consiste em dois ou mais elementos, por exemplo um sistema com ar e água.

2.3 Norma IEC 60335-1

Esta Norma, reconhece o nível internacionalmente aceite de proteção contra riscos, tais como elétrica, mecânica, térmica, fogo e radiação dos aparelhos quando operados como em uso normal tomando em consideração as instruções do fabricante [6].

Esta Norma trata dos perigos comuns apresentados pelos aparelhos que são encontrados por todas as pessoas e em torno da casa, no entanto, não leva em conta as pessoas (incluindo crianças) cujas capacidades físicas, sensoriais ou mentais, ou a falta de experiência e conhecimento, os impede de utilizar o aparelho com segurança, sem supervisão ou qualquer instrução [6].

Além desta Norma, existem estudos que salientam a importância de uma temperatura superficial controlada em equipamentos de aquecimento. Estes estudos são importantes pois demonstram que ultrapassar as temperaturas superficiais definidas na Norma, pode resultar em queimaduras de segundo ou mesmo terceiro grau. Em seguida, serão apresentados dois estudos relevantes, um realizado pela *NASA*, que apresenta o resultado, em dor, que uma superfície quente pode ter aquando em contacto e um estudo realizado pela *Commission de la Sécurité des Consommateurs* (Comissão de Segurança dos Consumidores) que dá especial ênfase às temperaturas superficiais dos radiadores numa escola devido à presença de crianças.

2.3.1 Estudo da *NASA*

Este estudo na *NASA*, recai maioritariamente sobre as temperaturas superficiais numa nave espacial. Deste estudo é importante reter que o corpo humano tolera, sem qualquer tipo de dor, temperaturas até 45°C [7]. De acordo com este estudo realizado e seguindo a fórmula de *Stoll et al. 's*, chegou-se a um gráfico que demonstra o tempo que o corpo humano pode estar em contacto com uma superfície quente em função da quantidade de dor que está a suportar.

$$T_{object} = a(k\rho c)_{object}^{-\frac{1}{2}} + b \quad (7)$$

Onde:

- T_{object} – Temperatura superficial do objeto, °C
- $k\rho c$ – Valor do sentimento de dor, cal²/cm⁴°C²s
- a – é uma constante, cm⁴°C³s /cal²
- b – é uma constante, °C

Os valores, a e b , são constantes de casos quentes [7] apresentadas na Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Constantes de casos quentes

Tempo de contacto (s)	a	b
1	0,92	69,97
2	0,641	61,19
3	0,521	57,42
4	0,451	55,2
5	0,403	53,7
10	0,475	50,07
30	0,459	46,61
60	0,446	45,9
∞	0,422	44,87

Através destas constantes e da fórmula de *Stoll et al's*, equação 7, é possível obter o Gráfico 2-1, onde se pode analisar que conforme a temperatura aumenta, o kpc também aumenta tendo em conta o tempo de contacto da mão com a superfície quente.

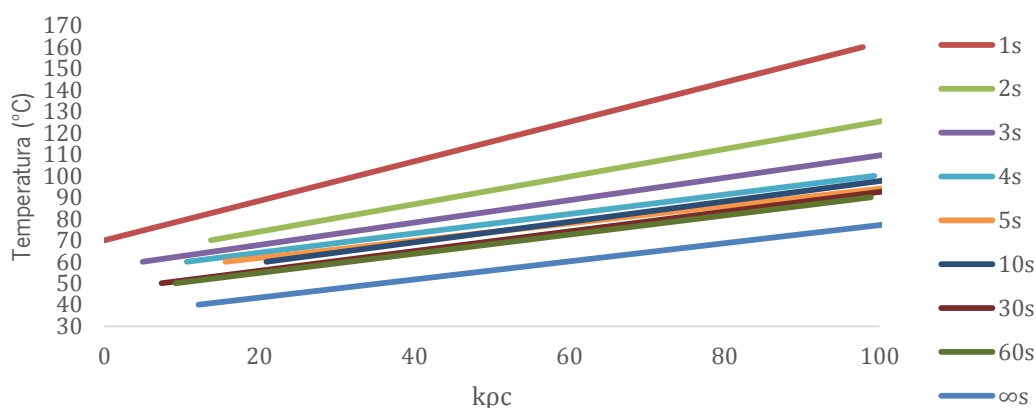


Gráfico 2-1 - Limite de temperatura ao toque

2.3.2 Estudo *Commission de la Sécurité des Consommateurs*

Este estudo visa, especialmente, o uso de radiadores em locais onde se encontram presentes crianças. As queimaduras com líquidos quentes são a causa número um das queimaduras térmicas em crianças, o contacto com chamas é a segunda causa de queimaduras em crianças e por último, mas não menos importante, o contacto com superfícies quentes (radiadores) é a terceira causa de queimaduras em crianças [8]. Os aparelhos de aquecimento, no período de 2004 a 2010, foram reportadas 389 queimaduras através do contacto com equipamentos de aquecimento, sendo que 30% dos casos foram devidos ao contacto com fogões a lenha, 21% devido a radiadores a óleo ou gás, 20% aquecedores elétricos, 17% devido a radiadores em que

não foi especificado o modo de energia ou fluido e 12% devido a inserções, sendo que 75% destes casos foram registados em crianças com menos de 5 anos [8].

Do mesmo modo que o estudo da *NASA*, este estudo também tomou em consideração o tempo necessário para desenvolver uma queimadura de segundo grau:

- A partir de 44°C, uma queimadura de segundo grau ocorre quando a exposição é superior ou igual a 6 horas;
- O limiar da dor é entre 47,5°C e 48,5°C, dependendo do indivíduo, sendo que uma pessoa pode mesmo atingir uma queimadura de segundo grau sem antes ter sentido dor alguma;
- Entre 44 e 51°C, a importância de danos celulares duplica a cada grau que a temperatura aumente;
- A 49°C, a queimadura de segundo grau ocorre quando exposto a 10 minutos;
- A 50°C, a queimadura de segundo grau ocorre quando exposto a 5 minutos;
- A 60°C, apenas 4 a 5 segundos para causar queimadura de segundo grau;
- A 70°C, este período não é superior a um segundo

Devido a este e outros estudos, em alguns países, noemadamente a França, a temperatura superficial dos radiadores, especialmente nas escolas, não poderá ser superior a 60°C [8].

2.4 Equipamentos de aquecimento

No mercado, hoje em dia, existem vários tipos de equipamentos de aquecimento que utilizam os modos de aquecimento por radiação ou por convecção, sendo que pode ser por convecção natural ou forçada, ou a combinação dos dois tipos. Como se espera, cada tipo de equipamento de aquecimento apresenta as suas vantagens e desvantagens sendo que o preço de cada um também difere. A radiação é o tipo de aquecimento que garante a temperatura mais homogénea, ou seja, evita a estratificação de ar quente junto do teto. Quando um equipamento funciona maioritariamente por convecção, a estratificação de ar quente já não é evitada, sendo que deste modo, nunca se deixa de ter a sensação de pés frios. Quando temos os dois tipos de aquecimento no mesmo equipamento, é normal que a sua eficiência seja mais elevada que os restantes que só usam radiação ou convecção.

2.4.1 Equipamentos de aquecimento por convecção forçada

Este tipo de equipamentos de aquecimento abrangem um intervalo de valores de obtenção bastante elevado, pois podem ser ventiladores, ar condicionado ou bomba de calor.

A. Ventiloinvectores

Os ventiloinvectores (Figura 2-1) é um dos equipamentos de aquecimento mais baratos no mercado, estando o seu preço, normalmente, entre 15 € a 30 €. O seu funcionamento é muito simples de explicar, sendo que é uma ventoinha que força a circulação do ar através duma resistência que se encontra a temperaturas elevadas, fornecendo ar quente à divisória onde se encontra o ventilador. A eficiência destes equipamentos é muito limitada, sendo que funciona bem numa divisória pequena e bem isolada.



Figura 2-1 - Ventilador

Na Tabela 2-2, estão presentes as principais vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento de aquecimento.

Tabela 2-2 - Ventiloinvector

Vantagens	Desvantagens
Preço de obtenção	Eficiência
Fácil transporte	Limitado a uma divisão
	Estratificação de ar quente junto do teto

B. Ar condicionado

Os ar condicionados apresentam um intervalo de preço de obtenção entre os 300 € e os 3000 €, sendo necessário para a sua instalação obras na casa ou escritório onde será montado. Este tipo de equipamento utiliza dois componentes, um componente interior, Figura 2-2, que é constituído por evaporador e um componente exterior, Figura 2-3.



Figura 2-2 - Elemento interior Daikin



Figura 2-3 - Elemento exterior Daikin

Apesar deste tipo de aquecimento necessitar de obras, é necessário salientar que com o ar condicionado é possível aquecer uma divisória da casa mas também arrefece-la, tornando desta forma, um controlador de temperatura bastante completo. Na Tabela 2-3, estão presentes as principais vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento.

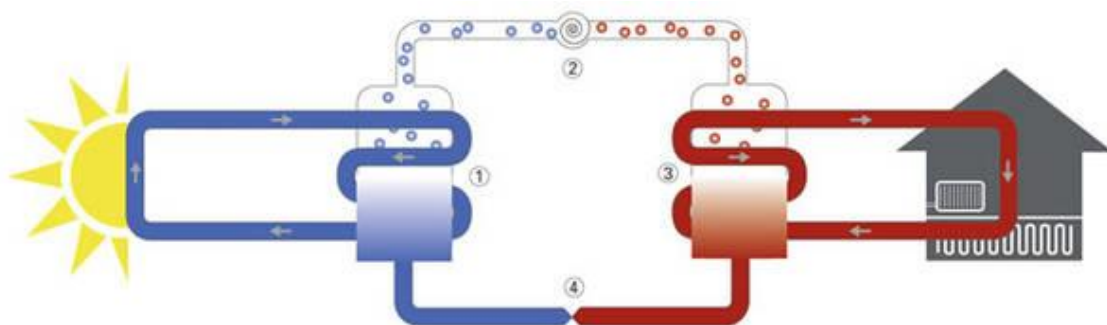
Tabela 2-3 - Ar condicionado

Vantagens	Desvantagens
Intervalo de temperaturas	Preço de aquisição para colocar em todas as divisórias
Rápida colocação da temperatura desejada	Necessário obras
	Manutenção
	Barulho

C. Bombas de calor

Assim como o ar condicionado, as bombas de calor também apresentam duas unidades (Figuras 2-4 e 2-5), uma interna e outra externa, sendo o seu funcionamento em cascata.

As bombas de calor convertem calor a baixa temperatura em calor de alta temperatura, mesmo no inverno, quando a temperatura se encontra abaixo de zero graus. O seu funcionamento tem como base um fluido de trabalho (refrigerante), que muda de estado num ciclo contínuo, sendo assim, essencialmente baseada no ciclo de Carnot.



O diagrama ilustra o ciclo operativo de uma bomba de calor:

Figura 2-4 - Ciclo da bomba de calor

1. Evaporação

No permutador de calor, o líquido refrigerante absorve a energia da fonte de calor e evapora quando a temperatura aumenta;

2. Compressão

Num compressor através da introdução de energia elétrica, o refrigerante, agora vaporizado, mas ainda frio, é comprimido e, deste modo, aquecido, saindo do compressor como gás quente;

3. Condensação

O gás quente flui no liquidificador até ao condensador onde liberta a energia para o sistema de aquecimento, condensa e deixa este último como refrigerante, sob a forma de líquido quente;

4. Expansão

O refrigerante quente, no estado líquido, é transferido para a válvula de expansão, onde a pressão é reduzida bruscamente. A temperatura do líquido de arrefecimento baixa, sem a libertação de energia. O refrigerante líquido frio é transferido para o evaporador e o ciclo começa novamente.

Para a colocação de uma bomba de calor, é necessário um investimento elevado devido à necessidade de realizar obras na residência, sendo este tipo de aquecimento o mais dispendioso aquando à obtenção, estando o seu preço de aquisição entre os 8000 € e o 12000 €, sendo necessário ainda a aquisição de tubagens, os ventiloconvectores e as obras de montagem.



Figura 2-5 - Bomba de calor Altherm Daikin

Na Tabela 2-4 estão salientadas as principais vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento de aquecimento.

Tabela 2-4 - Bomba de calor

Vantagens	Desvantagens
Intervalo de temperaturas	Preço de aquisição
Rápida colocação da temperatura desejada	Necessário obras
Eficiência energética	Manutenção
Possibilidade de produzir AQS – Água quente sanitária	Barulho

2.4.2 Equipamentos de aquecimento por radiação

Os equipamentos de aquecimento que funcionam unicamente por radiação apresentam elevados preços de aquisição.

A. Lareiras

A lareira é constituída por duas partes fundamentais: um espaço revestido de materiais não inflamáveis, onde é realizada a queima da madeira, e uma chaminé que permite a extração do fumo, sendo necessário, deste modo, obras para a inclusão de uma lareira, ou esta já estar inserida na casa desde a construção.

Este tipo de equipamento funciona maioritariamente por radiação, podendo ser complementados pela convecção forçada. Além do seu custo elevado de obtenção que pode ser entre os 80 € e os 1500 € este tipo de equipamento é um dos que precisa de mais manutenção devido à necessidade de limpar cinza acumulada e as próprias chaminés. O custo da matéria prima para a queima também faz com que este seja um equipamento, que em grande parte dos casos onde estão montados, não sejam ligados em alguns invernos. As lareiras são um dos elementos chave na decoração de uma casa.

Com a evolução dos equipamentos de aquecimento, as lareiras também evoluíram, não utilizando só lenha como combustível, mas também o gás ou a eletricidade.

Na Tabela 2-5 estão descritas as principais vantagens e desvantagens da utilização de lareiras.

Tabela 2-5 - Lareira

Vantagens	Desvantagens
Decoração	Preço de aquisição
Utilização da radiação	Necessário obras
	Necessário matéria prima
	Preço da matéria prima
	Manutenção
	Cheiro a fumo

B. Recuperador de calor

Assim como as lareiras, os recuperadores de calor também são equipamentos que funcionam maioritariamente por radiação e que apresentam um elevado custo de obtenção que pode variar entre 250 € e os 3000 €. Além do modo como realiza o aquecimento, o recuperador de calor

utiliza também o mesmo combustível, lenha ou pellets, contudo, apresenta rendimentos muito superiores pois a combustão é utilizada para gerar calor, que será depois recuperado e reutilizado. Outra diferença perante as lareiras, é a não utilização de chaminé para extração de fumos mas sim de uma entrada de ar frio vinda do exterior, com o objetivo de minimizar a produção de monóxido de carbono.

No entanto, a principal diferença entre as lareiras e os recuperadores é que os recuperadores, além de aquecerem a divisória onde se encontram, aquecem também água que circula em tubagens presentes no próprio recuperador. Essa água é posteriormente transportada para radiadores, piso radiante ou caldeiras presentes na casa, sendo capaz de aquecer outras divisórias além daquela onde o recuperador está inserido [9], como se pode verificar na Figura 2-6.

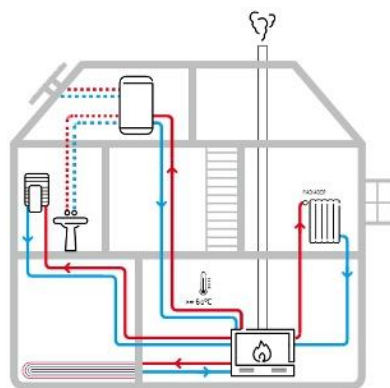


Figura 2-6 - Esquema de funcionamento
Recuperador de calor, Solzaima

C. Piso radiante

O aquecimento por piso radiante (Figura 2-7) consiste numa tubagem embutida no pavimento, distribuída por toda a superfície a aquecer. Nesses tubos circula água quente (a baixa temperatura, comparativamente com outros sistemas) produzida geralmente por uma caldeira a gás, gasóleo, bomba de calor, etc. No passado, o aquecimento por piso radiante tinha uma reputação de ser um piso demasiado quente, com sensação de mal estar. Devido à necessidade de obras, este tipo de aquecimento deve ser instalado numa renovação a uma habitação ou quando à sua construção. O seu preço também é elevado, podendo estar entre os 1500 € e os 3500 €, sendo ainda necessário a aquisição de um outro produto para aquecimento da água, elevando ainda mais o preço de aquisição deste equipamento.



Figura 2-7 - Piso radiante

Na Tabela 2-6 estão mencionadas as vantagens e desvantagens que este tipo de equipamento de aquecimento apresentam.

Tabela 2-6 - Piso radiante

Vantagens	Desvantagens
Eficiência energética	Preço de aquisição
Utilização da radiação	Necessário obras
Melhoria da qualidade do ar	Necessário outros componentes para completar este
Liberdade de design	Manutenção

2.4.3 Equipamentos de aquecimento por radiação e convecção natural

A par dos equipamentos que utilizam convecção forçada para aquecimento, os equipamentos de aquecimento por radiação e convecção natural, também apresentam um intervalo de preços de aquisição bastante interessante, tendo em conta a sua eficiência.

A. Radiadores elétricos

Os radiadores convencionais existentes no mercado funcionam maioritariamente por convecção natural, sendo que também realizam radiação. Na Figura 2-8, podemos observar um radiador elétrico convencional.



Figura 2-8 - Radiador convencional

Haverland

No caso dos radiadores eléctricos, uma ou mais resistências aquecem um fluido no interior do radiador que, circulando no seu interior, transporta a superfície do radiador para uma temperatura perto dos 85 °C. Estes possuem um intervalo de variação de preços algo elevado, sendo que para 900 W de potência, pode-se adquirir um radiador entre os 100 € ou 300 €, sendo que a diferença de preço recai sobre o fabricante do radiador e os componentes que o radiador possui, ou seja, depende da tecnologia que este possui. Na Tabela 2-7, estão apresentadas as vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento.

Tabela 2-7 - Radiador convencional eléctrico

Vantagens	Desvantagens
Preço de aquisição	Eficiência energética e térmica
Transportabilidade	Temperaturas superficiais elevadas
Fácil programação	Limitação na decoração
	Limitação na segurança na proteção dielétrica

B. Radiadores hidráulicos

Os radiadores de aquecimento hidráulicos, Figura 2-9, funcionam só por circulação de água quente no seu interior, fazendo-se acompanhar por uma caldeira, elevando assim o seu preço de aquisição, podendo este ser entre 2000 € a 4000 € para uma casa com 100 m², já estando incluído o preço da caldeira, mão de obra e obras necessárias realizar.

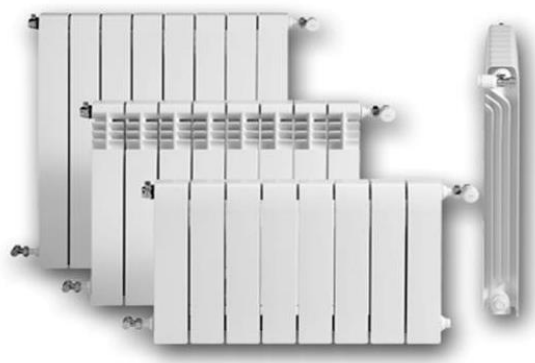


Figura 2-9 - Radiadores hidráulicos

O uso de caldeira para aquecimento é pouco utilizado nos dias de hoje devido às perdas que as tubagens apresentavam, sendo que o líquido não chega normalmente ao radiador à temperatura desejada.

Além destas perdas nas tubagens, a instalação deste tipo de radiadores, após a construção da casa, obrigava a obras elevadas devido à necessidade de inserção de tubagens para ligar os radiadores à caldeira. Existem quatro tipos de caldeiras utilizadas para aquecimento central:

- Caldeiras a gás;
- Caldeiras a pellets;
- Caldeiras a gasóleo;
- Caldeiras a lenha.

Estas caldeiras apresentam um funcionamento idêntico, sendo que necessitam de um combustível para aquecer água fria que entra na caldeira através de tubagens, circulando depois de volta para os radiadores água quente, aquecendo assim a superfície do radiador que posteriormente aquece o ambiente circundante ao radiador, Figura 2-10.



Figura 2-10 - Funcionamento de uma caldeira

Na Tabela 2-8 apresentada a seguir, são apresentadas as vantagens e desvantagens deste tipo de equipamento de aquecimento.

Tabela 2-8 - Radiador convencional hidráulico

Vantagens	Desvantagens
Preço de aquisição	Eficiência energética
Fácil programação	Temperaturas superficiais elevadas
	Limitação na decoração
	Necessário o uso de caldeira
	Necessário obras
	Transportabilidade
	Ruídos

C. Radiadores a óleo

Além dos radiadores convencionais utilizarem um líquido no seu interior, os radiadores a óleo, Figura 2-11, tem um funcionamento muito idêntico, sendo que a principal diferença é que as resistências não aquecem um líquido térmico, mas sim um óleo que se encontra no seu interior e que posteriormente será esse óleo a aquecer a superfície do radiador para temperaturas perto dos 80 °C. Este tipo de radiadores são os mais baratos, estando o seu preço entre os 20 € e os 150 €, devido à sua escassez de tecnologia no que toca a controlo de temperatura ambiente, ou seja, este tipo de radiador não mede a temperatura ambiente com a mesma eficácia que os convencionais, tornando-se assim, além do mais barato na aquisição, num radiador bastante dispendioso devido aos seus elevados consumos.



Figura 2-11 - Radiador a óleo e os seus componentes

Na Tabela 2-9 são apresentadas as vantagens e desvantagens destes equipamentos.

Tabela 2-9 - Radiador a óleo

Vantagens	Desvantagens
Preço de aquisição	Eficiência energética e térmica
Fácil programação	Temperaturas superficiais elevadas
Transportabilidade	Limitação na decoração
	Estratificação de ar quente junto do teto
	Escassez de tecnologia

D. Radiadores elétricos secos

Este tipo de radiadores, Figura 2-12, são muito idênticos, fisicamente, com o radiador convencional elétrico, sendo que a principal diferença incide no facto deste equipamento de aquecimento não utilizar no seu interior qualquer líquido, sendo que são as próprias resistências que aquecem o perfil do radiador.

temperatura e que apresentam uma mudança de resistência conforme se altera a temperatura, sendo que a elevada sensibilidade à variação de temperatura, permite ao termistor executar várias funções [10].

Aliada a estes dois componentes está uma *controller board* que realiza regulação proporcional.

2.5.1 PTC – Positive temperature coefficient

A PTC, Figura 2-13, é um termistor geralmente fabricado em materiais cerâmicos policristalinos que apresentam um elevado coeficiente positivo de temperatura, que aumenta na resistência do mesmo modo que a temperatura aumenta, sendo que, não aumentam de modo linear mas sim de acordo com o gráfico apresentado na Figura 2-14, [10].



Figura 2-13 - PTC

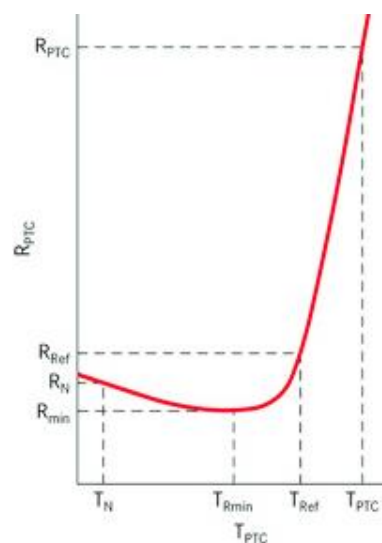


Figura 2-14 - Funcionamento da PTC

A PTC, devido a este funcionamento, apresenta algumas vantagens importantes, de salientar [11]:

- Elevadas prestações;
- Eliminação de controladores de temperatura;
- Poupança energética, menores consumos;
- Completamente selado;
- Óptima resistência mecânica e anti-corrosão.

2.5.2 NTC – Negative temperature coefficient

A NTC, Figura 2-15, é um semicondutor cerâmico que apresentam um elevado coeficiente de temperatura negativo de resistência e ao contrário da PTC, a resistência do NTC diminui conforme a temperatura aumenta, como podemos verificar pelo gráfico apresentado na Figura 2-16.

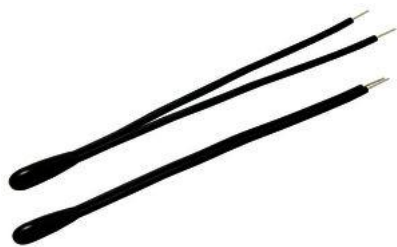


Figura 2-15 - NTC

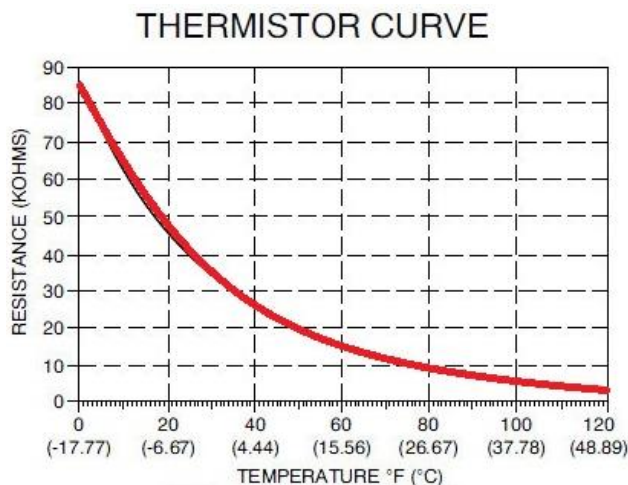


Figura 2-16 - Funcionamento do NTC

2.5.3 Regulação proporcional

A regulação proporcional analisa, compara e reage constantemente de acordo com a temperatura desejada e as perdas de carga do local a aquecer. Deste modo, é capaz de repor essa possível perda, que pode ser originada por uma porta aberta, uma janela aberta ou ineficiência de isolamento térmico, através de picos de energia fornecidos à PTC. Devido a esses picos de energia, a PTC eleva a sua temperatura de modo aumentar a temperatura superficial do perfil, mantendo assim a temperatura desejada no interior da divisória onde se encontra o equipamento.

2.5.4 Tecnologias de fabrico

Para a obtenção do equipamento no seu estado final, são utilizadas três diferentes metodologias de fabrico, sendo elas a Injeção, Extrusão e o *Clinching*.

A. Injeção

Injeção para molde é um processo em que um polímero é aquecido forçado a fluir sob alta pressão numa cavidade do molde, onde solidifica [12]. A parte moldada, é, então, removida da cavidade. O racio de produção é de aproximadamente 10 peças a cada 30 segundos, no entanto, para peças com maiores dimensões, é normal os ciclos durarem 1 minuto ou mais [12].

B. Extrusão

A extrusão é um processo de compressão forçada do material através uma abertura com o desgin pretendido, matriz [12, 13]. Este processo pode ser comparado com o apertar de uma pasta dos dentes.

C. Clinching

O *Clinching* também é denominado pelo *Press-Joining*, pois é a simples deformação plástica de duas chapas de modo a estas se unirem. É um processo que é realizado por um punção e à temperatura ambiente, tornando assim um processo rápido, que apresenta um menor custo e que pode ser facilmente automatizado.

2.6 Equipamentos de aquecimento que usam PTC

Já existe nos dias correntes equipamentos que utilizam a PTC como fonte de fornecimento de calor. Estes equipamentos, como podemos verificar pela Figura 2-17, são maioritariamente ventiladores, limitando assim a sua eficiência térmica.



Figura 2-17 - Ventiladores com PTC

Estes equipamentos, além da limitação a nível de ineficiência térmica, também são muito limitados a nível estético. O seu preço pode variar entre os 25 € e os 150 €.

A inexistência de um radiador que utilize PTC como fonte de fornecimento de calor, é um ponto forte que o equipamento desenvolvido apresenta, pois apesar de ser pioneiro no mercado dos equipamentos de aquecimento, alberga todas as vantagens do uso da PTC com um design revolucionário e com um aproveitamento térmico muito elevado, como se irá comprovar num capítulo mais avançado.

3 CONCEÇÃO DO EQUIPAMENTO

Este capítulo apresenta toda a concepção virtual do equipamento, assim como o custo de fabrico do mesmo quando comparado com a concorrência. O seu funcionamento e montagem serão explicados ao pormenor visto que o equipamento desenvolvido não utiliza nenhum parafuso para a fixação de perfis.

3.1 Equipamento

Tendo em conta que a empresa *Anergii* já possuía um protótipo, foi realizada a modelação 3D do perfil utilizando o Software *SolidWorks®*. Ao longo do projeto, foram realizadas algumas alterações no perfil de modo a respeitar as considerações desejadas pela *Anergii*, que tinha como objetivo a montagem de todo o equipamento sem a utilização de qualquer parafuso. Uma das considerações que a *Anergii* considerava interessante e que desejava manter é o facto de o protótipo já fazer um aquecimento com baixa temperatura do perfil, ou seja, respeitando a *Norma IEC 60335-1*, não ultrapassando a temperatura superficial de 80 °C. De modo a obter um maior aproveitamento do equipamento foi realizada uma otimização do perfil, tendo em conta que esta otimização foi aconselhada após uma visita realizada à FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. A alteração do perfil foi deliberada após a realização de um teste de temperatura superficial com uma câmara termográfica, na FEUP. Posteriormente serão apresentados os resultados do teste com câmara termográfica e a respetiva modelação 3D do perfil otimizado.

3.1.1 Modelação 3D do perfil

Como foi referido, a *Anergii* já possuía um perfil e o protótipo físico, logo este protótipo foi o primeiro perfil modelado em *SolidWorks®*. Este perfil desenvolvido e estudado pela *Anergii* tem o objetivo de tornar mais eficaz o aquecimento da divisão de uma casa ou escritório através de radiação. O facto de este perfil ser todo alhetado, com alhetas em forma de serpente, também torna mais eficiente a convecção natural realizada pela superfície do perfil visto que, devido ao seu formato, a sua área superficial também é superior comparativamente aos perfis comuns dos radiadores existentes. Este perfil, Figura 3-1, possui um máximo de 150 mm de largura e 500 mm de comprimento, sendo que possui 15 alhetas ao longo da sua largura.

28/04/2015 12:17	20,16	51,63
...		
29/04/2015 06:44	20,3	39,05
29/04/2015 06:45	20,3	39,05
29/04/2015 06:46	20,3	39,06
29/04/2015 06:47	20,3	39,04
...		
29/04/2015 20:00	22,5	43,3
29/04/2015 20:01	22,6	43,2
29/04/2015 20:02	22,6	43,2
29/04/2015 20:03	22,5	43,4
...		
29/04/2015 22:22	22,48	44,69
29/04/2015 22:23	22,48	44,67
29/04/2015 22:24	22,48	44,76
29/04/2015 22:25	22,52	44,74

O Radiador a óleo, além de não evitar a estratificação de ar quente no teto, seca o ar, baixando a humidade relativa do ar para valores a rondar os 39%. Estes valores baixos aumentam o desconforto e a secagem das membranas mucosas da pele, que podem levar a formação de gretas e irritação [16]. A evolução da temperatura e humidade relativa estão apresentados ao pormenorizadamente no Gráfico 4-3.

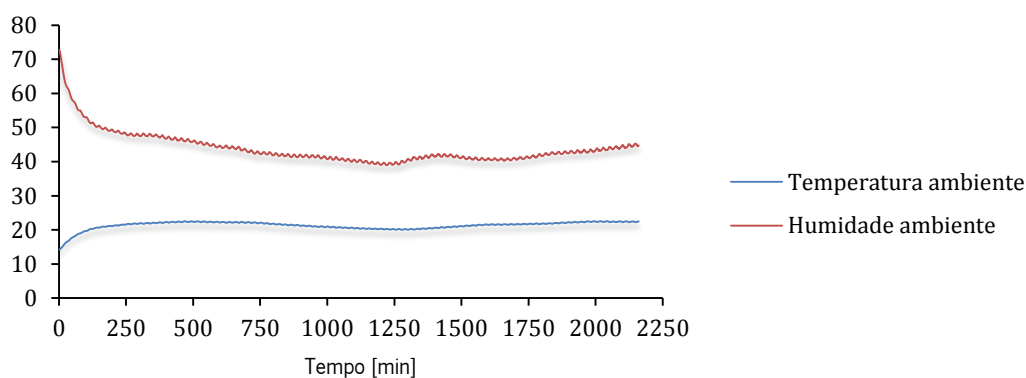


Gráfico 4-3 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador a óleo

O radiador a óleo apresenta um funcionamento ON/OFF como podemos verificar no Gráfico 4-4. Este tipo de funcionamento faz com que o radiador apresente um consumo elétrico elevado. No Anexo 2 está representada toda a tabela relativa aos consumos obtidos para este equipamento e todo o modo de funcionamento do radiador a óleo.

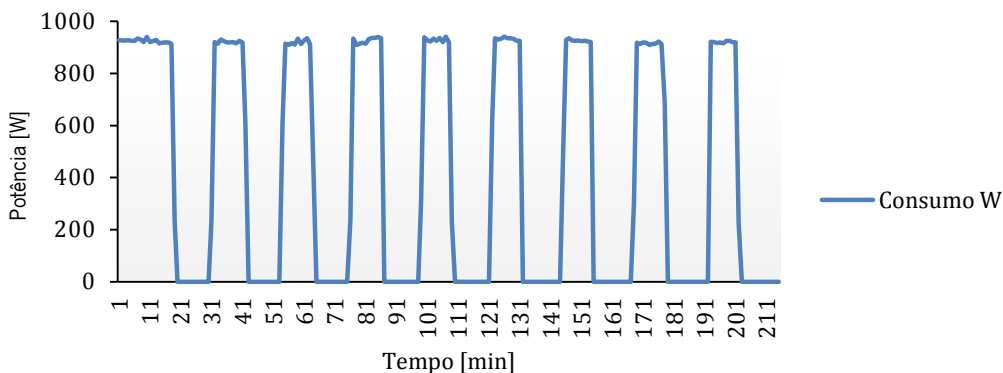


Gráfico 4-4 - Consumo, Radiador a óleo

O radiador a óleo apresentou um consumo de energia total correspondente a 2,08 €, sendo que este valor foi obtido através de um equipamento, cedido pela *Anergii*, que realiza os gráficos de consumo e o seu valor, sendo só necessário colocar o valor da tarifa em vigor, 0,15 €/kWh.

B. Radiador Seco

O radiador seco utilizado, modelo Série SC da *Calthermic*, Figura 4-8, é um radiador que não utiliza líquido no seu interior para aquecer a sua superfície, tal como o protótipo desenvolvido pela *Anergii*. Possui uma potência elétrica de 900 W [17].



Figura 4-8 - Radiador Série SC da Calthermic

O posicionamento deste radiador no interior da câmara é diferente do radiador a óleo, sendo que este foi colocado numa extremidade da câmara, à entrada. Deste modo, ficou mais próximo das sondas ST5 e ST2. Com o mesmo procedimento e condições iniciais da câmara utilizadas no teste do radiador a óleo, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 4-3, que apresenta alguns pontos importantes, tal como na tabela do radiador a óleo.

Tabela 4-4 - Temperatura das Sondas, Radiador Seco

Time	ST_1 [°C]	ST_2 [°C]	ST_3 [°C]	ST_4 [°C]	ST_5 [°C]	ST_6 [°C]
20/05/2015 09:36	15,8	16,1	15,6	15,6	15,1	16,8
20/05/2015 09:37	15,7	16,1	15,6	15,6	15,2	16,9
20/05/2015 09:38	15,7	16,1	15,7	15,6	15,2	16,9
20/05/2015 09:39	15,6	16,1	15,7	15,7	15,2	16,8
...						
20/05/2015 09:58	16,2	18,8	17,9	20,0	16,8	16,5
20/05/2015 09:59	16,3	18,9	18,1	20,2	16,9	16,6
20/05/2015 10:00	16,3	19,1	18,2	20,3	17,0	16,6
20/05/2015 10:01	16,4	19,2	18,4	20,6	17,1	16,7
...						
20/05/2015 10:18	17,7	21,5	20,6	22,9	18,9	17,5
20/05/2015 10:19	17,7	21,5	20,7	23,0	19,0	17,5
20/05/2015 10:20	17,8	21,5	20,7	23,0	19,1	17,5
20/05/2015 10:21	17,9	21,5	20,8	23,0	19,2	17,6
...						
20/05/2015 13:57	20,0	21,1	20,7	21,5	20,4	19,6
20/05/2015 13:58	20,0	21,1	20,7	21,5	20,4	19,6
20/05/2015 13:59	20,0	21,1	20,7	21,5	20,4	19,6
20/05/2015 14:00	20,0	21,1	20,7	21,5	20,4	19,6
...						
21/05/2015 06:36	18,2	20,9	20,5	21,5	19,7	18,0
21/05/2015 06:37	18,2	20,9	20,5	21,5	19,7	18,0
21/05/2015 06:38	18,2	21,0	20,5	21,6	19,7	18,0
21/05/2015 06:39	18,2	21,0	20,5	21,7	19,7	18,0
...						
21/05/2015 21:33	20,3	21,2	20,9	21,4	20,7	20,0
21/05/2015 21:34	20,3	21,2	20,9	21,4	20,7	20,0
21/05/2015 21:35	20,3	21,2	20,9	21,4	20,7	20,0
21/05/2015 21:36	20,3	21,2	20,9	21,4	20,7	20,0

O radiador seco garante uma temperatura mais uniforme que o radiador a óleo, no entanto, em alguns pontos a diferença de temperatura entre o teto e o chão é considerável. Apesar da menor estratificação de ar quente no teto, só no fim das 36 horas dos ensaios é que se verificou que todas as sondas atingiram os 20 °C. No Gráfico 4-5, é possível observar detalhadamente as medições iniciais das sondas, sendo que no Anexo 3 é apresentado o gráfico completo.

21/05/2015 08:04	20,8	31,58
21/05/2015 08:05	20,8	31,58
21/05/2015 08:06	20,8	31,57
21/05/2015 08:07	20,8	31,57

...

21/05/2015 19:50	21,1	39,42
21/05/2015 19:51	21,1	39,41
21/05/2015 19:52	21,1	39,40
21/05/2015 19:53	21,1	39,41

...

21/05/2015 21:35	20,8	40,38
21/05/2015 21:36	20,9	40,37
21/05/2015 21:37	20,9	40,35
21/05/2015 21:38	20,9	40,35

Da mesma forma que o radiador a óleo pode ser prejudicial para a saúde das pessoas devido à redução de humidade, o radiador seco ainda é mais prejudicial visto que a humidade no interior da câmara atingiu um valor bastante baixo e perigoso, 31,57%.

No Gráfico 4-7, observa-se, com maior detalhe, a evolução da temperatura e da humidade no interior da câmara.

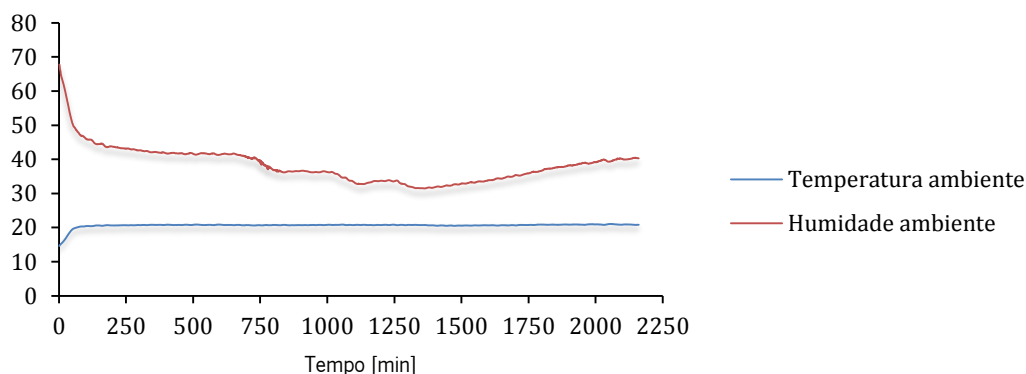


Gráfico 4-7 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador Seco

Este radiador seco já possui uma *controller board* de regulação proporcional. Por este motivo é expectável que os seus consumos sejam inferiores aos do radiador a óleo. O Gráfico 4-8 apresenta o excerto do comportamento do radiador seco, sendo que no Anexo 3 é possível observar-se toda a tabela de funcionamento do radiador e o gráfico completo do seu funcionamento.

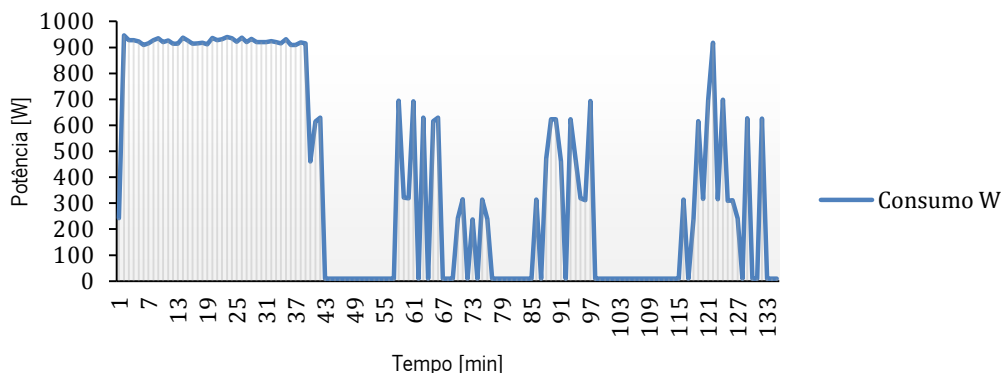


Gráfico 4-8 - Consumo, Radiador Seco

Como seria de esperar, este radiador apresentou um consumo de energia total, ao longo do teste, correspondente a 0,81 €.

C. Radiador Seco *Controller board* diferente

Devido a uma questão comparativa, foi analisado o consumo do radiador seco caso possuísse uma *controller board* diferente à presente no radiador, mas que fosse usada também, no *Concept*, ou seja, esta *controller board* também teria que ser usada no *Concept*. Além do uso da *controller board* diferente, a temperatura pretendida subiu para os 23 °C, a temperatura inicial do teste estaria entre os 16 °C e os 17 °C e a humidade relativa entre os 70 % e os 75 %. Este ensaio foi mais curto, tendo uma duração de 24 horas. Na Tabela 4-5 é possível observar alguns pontos relevantes, medidos pelas sondas.

Tabela 4-6 - Temperatura das Sondas, Radiador Seco *Controller board*

Time	ST_1 [°C]	ST_2 [°C]	ST_3 [°C]	ST_4 [°C]	ST_5 [°C]	ST_6 [°C]
02/07/2015 04:05	17,0	17,4	17,1	16,8	16,6	17,5
02/07/2015 04:06	16,9	17,4	17,1	16,8	16,6	17,3
02/07/2015 04:07	16,8	17,5	17,1	16,8	16,7	17,2
02/07/2015 04:08	16,8	17,5	17,1	16,8	16,7	17,1
...						
02/07/2015 04:37	18,4	22,0	21,2	23,0	19,6	18,5
02/07/2015 04:38	18,5	22,2	21,4	23,2	19,7	18,6
02/07/2015 04:39	18,6	22,3	21,5	23,3	19,8	18,7
02/07/2015 04:40	18,6	22,4	21,6	23,4	19,9	18,7
...						
02/07/2015 05:46	21,7	27,5	26,6	28,7	24,0	21,5
02/07/2015 05:47	21,8	27,5	26,6	28,7	24,1	21,5
02/07/2015 05:48	21,8	27,5	26,6	28,7	24,1	21,6
02/07/2015 05:49	21,8	27,5	26,6	28,7	24,1	21,6
...						
02/07/2015 16:26	23,0	23,8	23,6	23,8	23,3	22,8

...		
02/07/2015 05:12	23,0	54,72
02/07/2015 05:13	23,1	54,45
02/07/2015 05:14	23,2	54,23
02/07/2015 05:15	23,3	53,98
...		
02/07/2015 05:57	26	46,51
02/07/2015 05:58	26	46,49
02/07/2015 05:59	26	46,46
02/07/2015 06:00	26	46,48
...		
03/07/2015 04:02	23,6	51,39
03/07/2015 04:03	23,6	51,35
03/07/2015 04:04	23,7	51,30
03/07/2015 04:05	23,6	51,24

No teste com uma *controller board diferente*, realizado sobre o radiador seco, foi possível verificar que o radiador não reduziu a humidade do ar, no entanto, obteve um valor abaixo do valor mínimo aconselhado, 50% Hr. Através do Gráfico 4-11, pode-se visualizar o comportamento da temperatura e humidade no interior da câmara, sendo que o Anexo 4 contém toda a tabela de evolução de temperatura e humidade ao longo do ensaio.

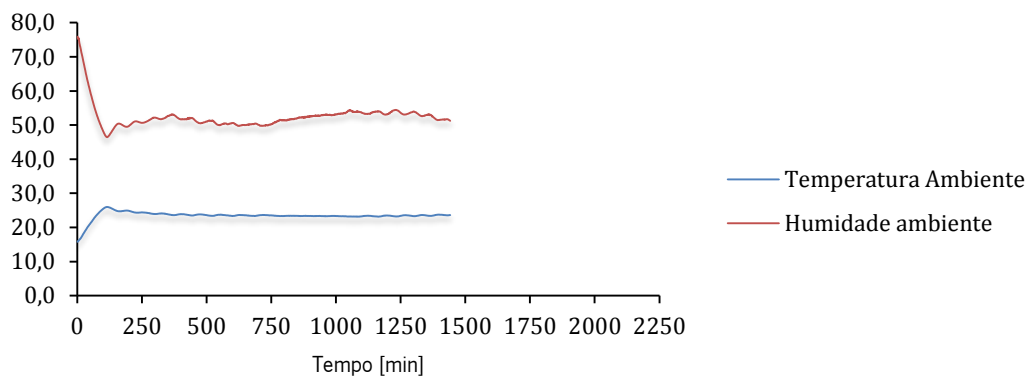


Gráfico 4-11 - Temperatura e Humidade da câmara, Radiador Seco *Controller board*

Seria expectável que os consumos relativos ao teste da *controller board diferente*, realizado sobre o radiador seco fossem muito mais elevados que os resultados obtidos no teste normal, no entanto, como podemos verificar pelo Gráfico 4-12, o seu funcionamento foi muito idêntico ao teste realizado anteriormente. No Anexo 4 é possível observar todo o gráfico de funcionamento e a sua respetiva tabela.

Tabela 4-8 - Temperaturas das Sondas, Concept

Time	ST_1 [°C]	ST_2 [°C]	ST_3 [°C]	ST_4 [°C]	ST_5 [°C]	ST_6 [°C]
13/06/2015 17:49	15,8	16,6	16,1	15,6	15,5	16,1
13/06/2015 17:50	15,8	16,6	16,1	15,7	15,7	16,1
13/06/2015 17:51	15,8	16,6	16,1	15,7	15,9	16,0
13/06/2015 17:52	15,8	16,6	16,1	15,8	16,0	16,0
...						
13/06/2015 18:18	16,8	19,5	18,5	20,0	18,6	17,0
13/06/2015 18:19	16,9	19,6	18,6	20,1	18,6	17,1
13/06/2015 18:20	16,9	19,7	18,7	20,3	18,7	17,1
13/06/2015 18:21	17,0	19,9	18,8	20,4	18,8	17,2
...						
13/06/2015 18:38	17,8	20,9	20,0	21,5	19,8	18,0
13/06/2015 18:39	17,9	20,9	20,0	21,6	19,8	18,1
13/06/2015 18:40	17,9	20,9	20,1	21,6	19,8	18,1
13/06/2015 18:41	18,0	21,0	20,1	21,6	19,9	18,2
...						
13/06/2015 20:53	20,0	20,4	20,2	20,4	20,2	20,0
13/06/2015 20:54	20,0	20,4	20,2	20,4	20,2	20,0
13/06/2015 20:55	20,0	20,4	20,2	20,5	20,2	20,0
13/06/2015 20:56	20,0	20,4	20,2	20,5	20,2	20,0
...						
14/06/2015 06:45	18,9	20,6	20,2	20,8	20,0	19,3
14/06/2015 06:46	18,9	20,6	20,2	20,8	20,0	19,3
14/06/2015 06:47	18,9	20,6	20,2	20,8	20,0	19,3
14/06/2015 06:48	18,9	20,6	20,2	20,8	20,0	19,3
...						
15/06/2015 05:46	18,9	20,6	20,2	20,9	20,0	19,3
15/06/2015 05:47	18,9	20,6	20,2	20,9	20,0	19,3
15/06/2015 05:48	18,9	20,6	20,2	20,9	20,0	19,3
15/06/2015 05:49	18,9	20,6	20,2	20,9	20,0	19,3

Após uma breve análise dos pontos demonstrados acima e do início de medição de temperaturas apresentado Gráfico 4-13, como seria expectável no protótipo desenvolvido pela *Anergii*, a temperatura medida pelas sondas é mais uniforme que nos restantes testes.

13/06/2015 20:56	20,3	54,14
13/06/2015 20:57	20,3	54,27
13/06/2015 20:58	20,3	54,28
...		
15/06/2015 05:46	20,5	57,37
15/06/2015 05:47	20,5	57,35
15/06/2015 05:48	20,5	57,34
15/06/2015 05:49	20,5	57,27

Através dos pontos apresentados e do Gráfico 4-15, é possível afirmar que o *Concept* além de não realizar estratificação de ar quente no teto, também não “queima” o ar, deixando os valores da humidade relativa acima do mínimo aconselhável, 50% Hr.

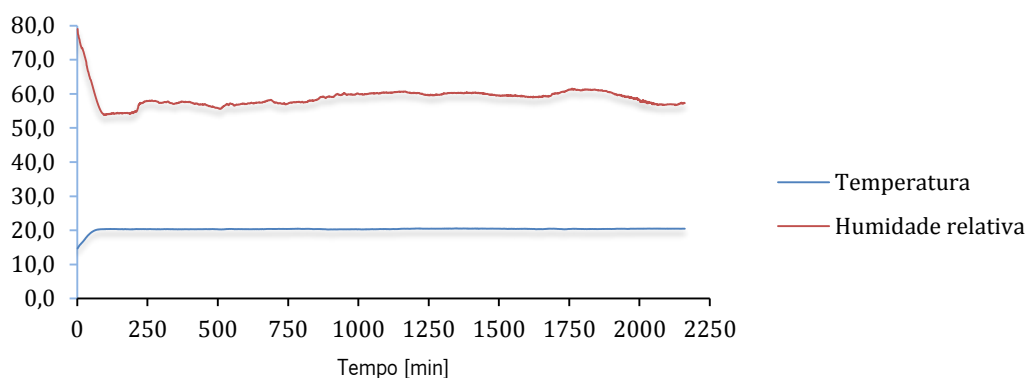


Gráfico 4-15 - Temperatura e Humidade na câmara, Concept

Em relação aos consumos do *Concept*, seria expectável consumos muito inferiores aos do radiador a óleo e inferiores aos do radiador seco devido ao uso da PTC como fonte de calor e da carta eletrónica com regulação proporcional. No Gráfico 4-16, é possível observar o início de comportamento do *Concept*. No Anexo 5, encontra-se ao pormenor todo o gráfico de funcionamento detalhado do *Concept*, assim como a respetiva tabela.

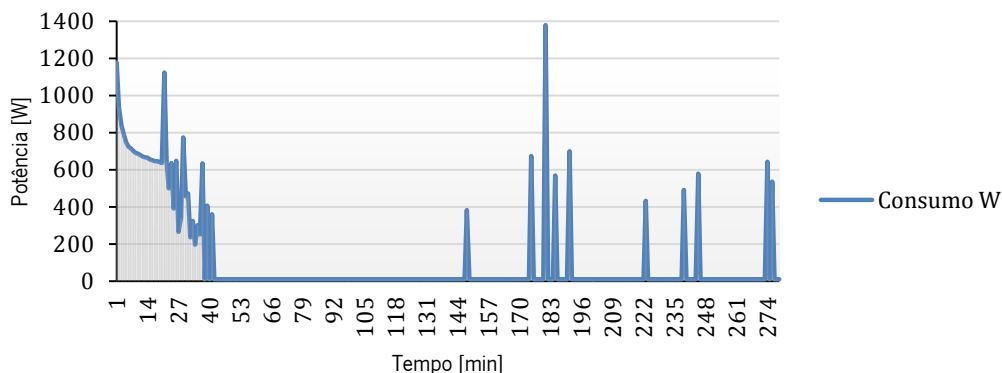


Gráfico 4-16 - Consumo, Concept

O *Concept* apresentou um consumo elétrico correspondente a de 0,38 € ao longo do ensaio de 36 horas.

E. *Concept Controller board* diferente

Foi realizado um teste com a mesma *controller board* que foi utilizada no radiador seco e comprovou-se que, apesar do uso de a mesma *controller board*, o *Concept* conseguiu manter temperaturas uniformes no interior da câmara e ao mesmo tempo, manter os consumos mais baixos que os restantes radiadores testados. Este teste teve as mesmas condições que o teste de *controller board* diferente realizado ao radiador seco.

A Tabela 4-9, apresenta alguns valores relevantes, de temperatura, medidos pelas sondas.

Tabela 4-10 - Temperatura das Sondas, *Concept Controller board*

Time	ST_1 [°C]	ST_2 [°C]	ST_3 [°C]	ST_4 [°C]	ST_5 [°C]	ST_6 [°C]
03/07/2015 05:57	15,7	17,2	16,4	15,9	16,2	16,2
03/07/2015 05:58	15,8	17,2	16,4	16,0	16,2	16,2
03/07/2015 05:59	15,9	17,2	16,4	16,1	16,3	16,2
03/07/2015 06:00	15,9	17,2	16,5	16,1	16,3	16,2
...						
03/07/2015 06:49	19,2	22,4	21,3	23,1	20,4	19,0
03/07/2015 06:50	19,2	22,5	21,4	23,1	20,5	19,0
03/07/2015 06:51	19,3	22,6	21,5	23,3	20,5	19,1
03/07/2015 06:52	19,3	22,7	21,6	23,3	20,6	19,1
...						
03/07/2015 08:08	22,3	25,9	24,9	26,6	23,9	21,7
03/07/2015 08:09	22,4	25,9	24,9	26,7	23,9	21,7
03/07/2015 08:10	22,4	25,9	24,9	26,7	23,9	21,7
03/07/2015 08:11	22,4	26,0	25,0	26,7	24,0	21,8
...						
03/07/2015 16:41	22,8	23,6	23,4	23,6	23,1	22,6

03/07/2015 16:42	22,8	23,6	23,4	23,6	23,1	22,6
03/07/2015 16:43	22,8	23,6	23,4	23,6	23,1	22,6
03/07/2015 16:44	22,8	23,6	23,4	23,6	23,1	22,6

...

03/07/2015 22:22	22,6	23,2	23,0	23,2	22,9	22,5
03/07/2015 22:23	22,6	23,2	23,0	23,2	22,9	22,5
03/07/2015 22:24	22,6	23,2	23,0	23,2	22,9	22,5
03/07/2015 22:25	22,6	23,2	23,0	23,2	22,9	22,5

...

04/07/2015 05:54	22,2	23,1	22,8	23,2	22,7	22,1
04/07/2015 05:55	22,2	23,1	22,8	23,2	22,7	22,1
04/07/2015 05:56	22,2	23,1	22,8	23,2	22,7	22,1
04/07/2015 05:57	22,2	23,1	22,8	23,2	22,7	22,1

Após atingir os 23°C, a temperatura manteve-se novamente bastante uniforme, comprovando mais uma vez a não existência de estratificação de ar quente no teto. O Gráfico 4-17 demonstra o início de medição das sondas, sendo que no Anexo 5 é possível observar o gráfico completo e a sua respetiva tabela de valores.

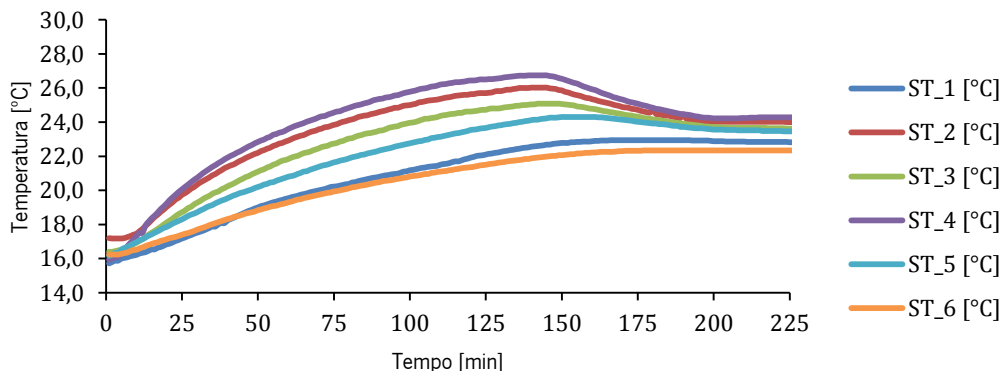


Gráfico 4-17 - Temperatura das sondas, Concept *Controller board*

Tal como nos restantes casos de estudo, para, mais uma vez, comprovar a menor ou inexistente estratificação de ar quente no teto, o Gráfico 4-18 apresenta a temperatura média medida por cada sonda.

O Gráfico 4-19 demonstra a evolução da temperatura e humidade ambiente no interior da câmara. No Gráfico 4-20, podemos ver o comportamento do *Concept* com uma *controller board* igual à utilizada pelo radiador seco.

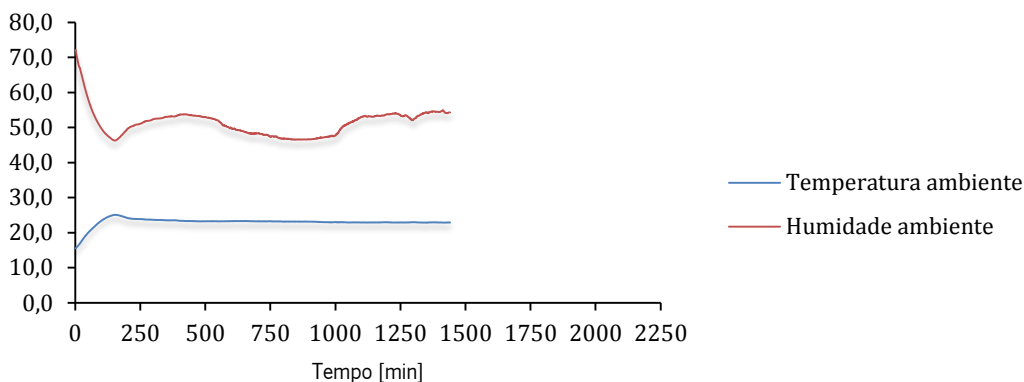


Gráfico 4-19 - Temperatura e Humidade da Câmara, Concept *Controller board*

Os consumos do *Concept*, apesar da utilização de uma *controller board* diferente, provaram ser inferiores aos restantes equipamentos testados devido à sua fonte de calor, a PTC.

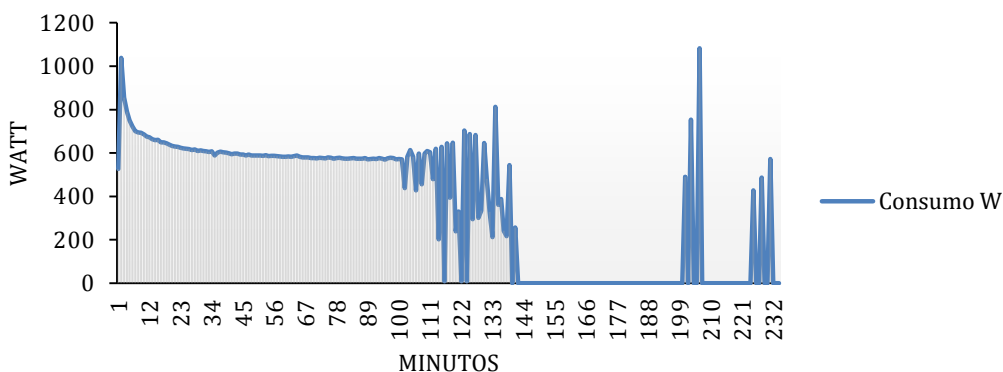


Gráfico 4-20 - Consumo, Concept *Controller board*

O consumo de energia do *Concept* para este teste de 24 horas teve um custo de apenas 0,32 €.

Após calcular o valor de F_x , é necessário determinar o seu valor em F , sendo que neste caso concreto, é utilizada a seguinte fórmula:

$$F = F_x \sin \alpha \quad (24)$$

Em que:

- $\sin \alpha = 0,35$

Deste modo, o valor de F é 1500 N .

À compressão, a equação utilizada é:

$$\sigma = \frac{F_y}{bh} \quad (25)$$

Em que:

- F_y é a força aplicada aquando à compressão, que neste caso é $2,4 \times 10^5 \text{ N}$

Após determinado o valor de F_y , como no caso anterior, também foi necessário calcular o seu valor em F , sendo que foi utilizada a equação:

$$F = F_y \cos \alpha \quad (26)$$

Em que:

- $\cos \alpha = 0,89$

Deste modo, o valor de F é $2,136 \times 10^5 \text{ N}$.

À compressão ainda foi necessário determinar a carga crítica de *Euler*, $9,84 \times 10^5 \text{ N}$, sendo obtido este valor através da seguinte equação:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (27)$$

Em que:

- E é o módulo de elasticidade = $69,5 \text{ GPa}$

Visto que o valor da carga crítica é superior à força à compressão, conclui-se que as alhetas não entram em encurvadura.

Como a força F_x é inferior à F_y , para a simulação foi utilizada a força menor tendo em conta a estruturação da simulação como demonstra a Figura 4-11.

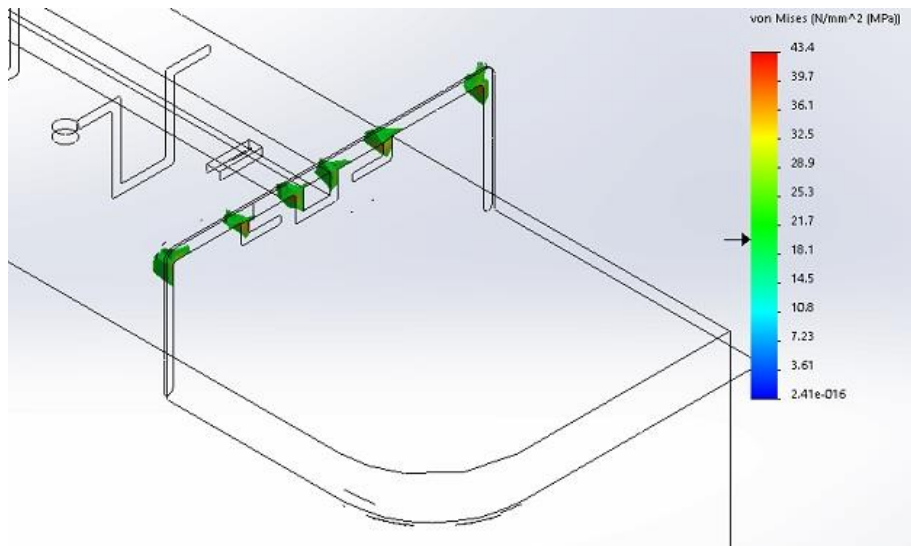


Figura 4-18 - Zona da tensão média registada

Como podemos verificar, neste teste realizado com a mesma *controller board* para o *Concept* e o Radiador Seco, a humidade no interior da câmara manteve-se idêntica para os dois equipamentos, sendo que o *Concept* apresentou uma humidade média de 51,36% e o Radiador Seco de 52,39%. Além da temperatura no interior da câmara, dos seus consumos e a humidade relativa serem os fatores mais importantes a comparar nestes testes realizados, também o tempo que demora a colocar a temperatura desejada no interior da câmara o é. Deste modo, foi examinado quanto tempo passou até a câmara registar os 20°C e os 23°C, nos testes em condições normais e com a mesma *controller board*, respetivamente. Os valores referentes ao teste de 20°C estão representados no Gráfico 5-11.

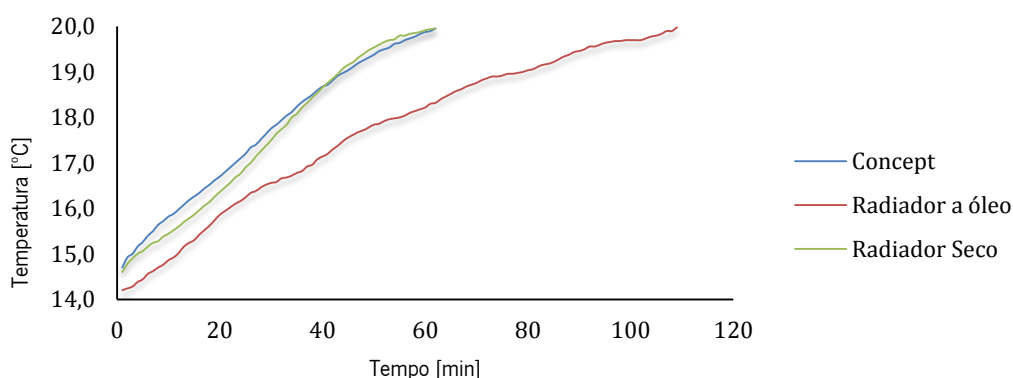


Gráfico 5-11 - Tempo necessário para atingir os 20°C

Como é possível verificar, o *Concept* e o Radiador Seco demoram o mesmo tempo a atingir os 20°C, aproximadamente 62 min, enquanto que o Radiador a Óleo demora quase o dobro do tempo, 109 minutos.

No caso do aquecimento com *controller board* idêntica para o *Concept* e o Radiador Seco, os resultados foram um pouco diferentes, tal como é visível no Gráfico 5-12.

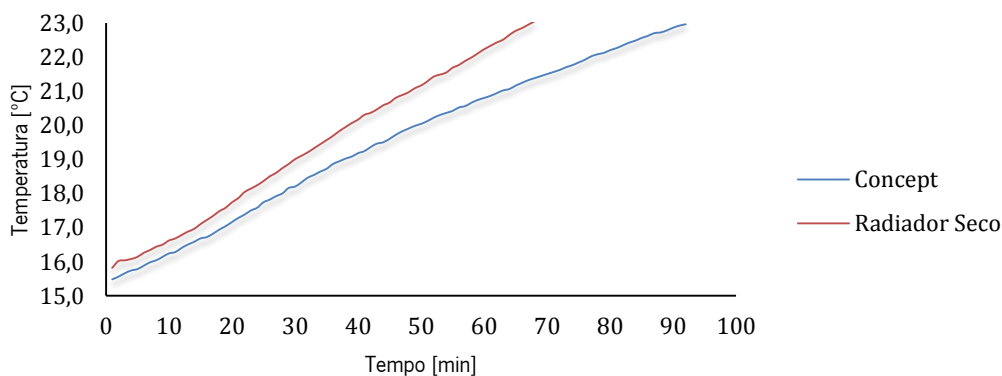


Gráfico 5-12 - Tempo necessário para atingir os 23°C

Com a *controller board* idêntica, o Radiador Seco é mais rápido a colocar a temperatura desejada no interior da câmara em, aproximadamente, 30 min. Esse fator pode ser facilmente explicado pelo facto de a temperatura superficial do Radiador Seco ser mais elevada que a do *Concept*. Este aquecimento mais rápido por parte do Radiador Seco, também não traduz um aquecimento uniforme em toda a câmara como se pode comprovar através dos dados obtidos.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões retiradas ao longo deste trabalho. Também serão discutidas sugestões para trabalhos futuros de forma a complementar o trabalho realizado e validação de resultados.

Este trabalho permitiu realizar um estudo comparativo de eficiência térmica, energética e de conforto para vários equipamentos de aquecimento testados. De acordo com estes testes realizados na câmara adiabática, conclui-se que o protótipo fornecido pela *Anergii*, o *Concept*, em relação aos restantes equipamentos testados, mostrou-se o mais eficiente térmicamente, energeticamente e com melhor conforto, sendo que se estima, pelos resultados dos ensaios, 50% menos de consumo ao equipamento que mais se aproximou do *Concept*. Sendo o objetivo de cada equipamento existente numa habitação, o menor consumo possível, no aquecimento o *Concept* mostrou-se revolucionário, sabendo que todos os testes possuíam as mesmas condições de arranque.

O objetivo de metade das sondas serem colocadas mais perto do chão e a outra metade mais perto do teto, serviu para se verificar o conforto térmico fornecido por cada equipamento testado. Observando os resultados obtidos, o *Concept*, para cada par de sonda, uma em cima e outra em baixo, foi o equipamento que apresentou menor diferença de temperatura, não ultrapassando os 2 °C em qualquer momento. No entanto, os restantes equipamentos, passaram este valor sendo que o Radiador a Óleo obteve resultados que demonstram a realização de estratificação de ar quente junto do teto, sendo que em alguns pontos, a diferença de temperatura para um par de sondas, foi quase de 5 °C, estando a ser resgitado pela sonda mais perto do chão 15,8 °C e pela sonda mais próxima do teto 19,4 °C. O Radiador Seco já apresentou resultados muito idênticos a nível de conforto térmico, no entanto, a maior diferença de temperatura, para par de sondas, registada foi aproximadamente 4 °C, tendo sido registado pela sonda mais perto do chão 18,2 °C e 21,9 °C na sonda mais perto do teto. Nos ensaios realizados com a mesma *controller board* para o *Concept* e para o Radiador Seco, a diferença máxima de temperatura registada por cada um foi 4,3 °C e 7 °C respetivamente. Este valores foram registados enquanto que a temperatura era estabilizada no interior da câmara, sendo que após a estabilização, a maior diferença de temperatura registada foi 1 °C para o *Concept* e 3 °C para o Radiador Seco.

Aquando ao aquecimento, já tendo sido referido ao longo do desenvolvimento desta dissertação, a humidade relativa também é um fator muito importante no aquecimento e para a própria saúde das pessoas que utilizam este tipo equipamentos para se aquecerem. Mais uma vez, neste ponto,

conclui-se que o protótipo fornecido pela *Anergii*, é o equipamento que apresenta menores variações de humidade no interior da câmara e uma menor “queima” do ar, ou seja, não baixa os valores da humidade em demasia, para valores que possam por em causa a integridade da pessoa. No teste realizado com a mesma *controller board*, aquando ao teste com o *Concept*, a câmara registou um valor mínimo de humidade no interior de 46,3 %Hr, sendo que no do Radiador Seco, registou 46,5 %Hr. Apesar da menor humidade registada pelo *Concept* nestas condições, conclui-se, após análise dos testes em condições normais de funcionamento, que o *Concept* é o melhor equipamento para não baixar a humidade relativa no interior de uma habitação, sendo que foram registados pela câmara para os testes do *Concept*, Radiador Seco e Radiador a Óleo, 53,8 %Hr, 31,53 %Hr e 39 %Hr, respetivamente.

Com os resultados obtidos ao longo desta dissertação pode-se concluir que o formato das alhetas é revolucionário permitindo aumentar a área de radiação e de convecção natural. Também se conclui que estas alhetas, apesar de serem bastante esbeltas e curvada, apresentam uma resistência à pressão bastante elevada. No droptest é facilmente concluído que o equipamento, resistirá a uma queda de 10 cm de altura sem qualquer problema.

6.1 Trabalhos futuros

À medida que aprofundamos um determinado estudo de uma determinada área ou equipamento, é habitual surgirem novos caminhos de investigação. Após este estudo realizado, podem ser enumerados algumas sugestões para trabalhos futuros de investigação e desenvolvimento referente ao equipamento estudado.

Dado o tempo limitado de realização deste trabalho e dada a elevada complexidade da realização do dimensionamento das alhetas de geometria complexa, como trabalhos futuros e para outras dissertações, seria interessante realizar um estudo promenorizado do perfil a nível térmico, ou seja, achar as equações que traduzissem corretamente o calor transferido por este perfil e comparar os resultados obtidos com uma mesma análise realizada num software específico, como por exemplo o *Ansys*.

Além deste estudo térmico que pode ser realizado, também era interessante estudar estruturalmente o perfil de modo a tentar reduzir o seu peso mantendo todas as vantagens térmicas do material utilizado e mantendo a resistência estrutural necessária.

Outro trabalho que pode ser realizado, mesmo considerando duas dissertações em conjunto, é a realização de novos ensaios de aquecimento. Estes ensaios não seriam realizados todos na câmara adiabática usada neste trabalho na Universidade do Minho, mas sim em situações reais

de habitações a fim de comparar os resultados com os obtidos da câmara adiabática. Como complementação do estudo real, sugere-se a preparação de um inquérito para aferir o nível de satisfação dos utilizadores, quer a nível económico, quer a nível de conforto térmico.

7 BIBLIOGRAFIA

1. Çengel, Y.A., *Heat transfer : a practical approach*. Schaum's outline series in mechanical engineering. 1998, Boston, Mass.: WBC McGraw-Hill. xxxiv, 1006.
2. Incropera, F.P. and D.P. DeWitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*. 2.ed. ed. 1985, New York,N.Y.: Wiley. 23+802 s.
3. Ghiaasiaan, S.M., *Convective heat and mass transfer*. 2011, Cambridge ; New York: Cambridge University Press. xxiv, 524 p.
4. Rajput, R.K., *Engineering thermodynamics*. 3rd ed. 2010, Sudbury, Mass.: Jones and Bartlett Publishers. xx, 955 p.
5. Çengel, Y.A., *Introduction to thermodynamics and heat transfer*. International ed. McGraw-Hill series in mechanical engineering. 1997, New York: McGraw-Hill. xxvii, 922 p.
6. Comission, I.E., *IEC 60335-1*. 2004.
7. Eugene Ungar, K.S., *A new approach to defining human touch temperature standard*. 2010.
8. Consommateurs, C.d.I.S.d., *Risques de brulures par contact avec des radiateurs eletriques et des appareils de chauffage domestiques*. 2012.
9. Solzaima, *Winter 2013*. 2013.
10. Dale, V., *NTC and PTC Thermistors*. 07-Março-2002.
11. Group, S., *Resistenze a Cartuccia Autoregolante*.
12. Groover, M.P., *Fundamentals of modern manufacturing : materials, processes, and systems*. 1996, Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. xv, 1061 p., 4 p. of plates.
13. Sheppard, T., *Extrusion of aluminium alloys*. 1999, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 420 s.
14. Teixeira, J.C.F., *Transferência de Calor - Tabelas*. 2003.
15. Vieira & Lopes, L., *Projeto de Câmara Adiabática*.
16. Ambiente, A.P.d., *Qualidade do Hr em espaços interiores*. Março de 2009.
17. Calthermic, S.S.-. *Catálogo*. 2010.
18. www.lse.ac.uk. *Ambient Room Temperature Guidelines*.

ANEXOS

Anexo 1 – Desenhos técnicos

Anexo 2 – Resultados dos testes do Radiador a óleo

Anexo 3 – Resultados dos testes do Radiador Seco

Anexo 4 – Resultados dos testes do Radiador Seco com *Controller board* diferente

Anexo 5 – Resultados dos testes do *Concept*

Anexo 6 – Resultados dos testes do *Concept* com *controller board* diferente

Anexo 1 – Desenhos técnicos

Anexo 2 – Resultados dos testes do Radiador a óleo

Anexo 3 – Resultados dos testes do Radiador Seco

Anexo 4 – Resultados dos testes do Radiador Seco com *Controller board*
diferente

Anexo 5 – Resultados dos testes do *Concept*

Anexo 6 – Resultados dos testes do *Concept* com *controller board*
diferente