



Diogo Miguel Joaquim

**Projeto de Sistemas Eficientes para
Aquecimento Central e Água
Quente Sanitária aplicado a um Lar
de Idosos**

Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na
Indústria e Edifícios

Orientador:

Prof. Doutor. Paulo Miguel Marques Fontes

Dezembro de 2024

Resumo

Atualmente é importante considerar projetos de climatização eficientes em edifícios (neste caso em aquecimento central e produção de água quente sanitária). A Transição Energética, tem sido um dos principais focos da União Europeia, traduzindo-se em metas aplicadas aos Estados-Membros de forma a baixar as emissões de CO₂. Segundo a EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), cerca de 40% do consumo de energia provém de edifícios e 75% desses edifícios têm baixa performance energética. O objetivo principal será desenvolver edifícios mais eficientes de forma a baixar a dependência de combustíveis fósseis e consequentemente reduzir as emissões de CO₂.

O objetivo do presente projeto é desenvolver um sistema de aquecimento central e produção de água quente sanitária energeticamente eficiente ao nível dos equipamentos. A escolha de um lar de idosos foi importante, porque para além do aquecimento central, a produção de grandes volumes de água quente sanitária também é de bastante importância.

O desenvolvimento do sistema de aquecimento central consistiu, numa primeira fase, no cálculo das cargas térmica em aquecimento, utilizando um software de simulação energética (Hourly Analysis Program – CARRIER/ASHRAE). A escolha do equipamento foi feita em função dessas cargas, mas também, através de análises de eficiências e custos energéticos, para desta forma selecionar-se o equipamento mais adequado, tanto na fonte de calor como nos emissores térmicos.

Relativamente ao aquecimento central, a escolha da fonte de calor passou pela bomba de calor ar-água (não foi considerado geotermia por falta de área para perfurações). Esta permite obter maiores eficiências comparativamente com caldeiras a gás natural e pellets. Esta eficiência traduz-se na fatura energética, garantindo uma redução significativa. Para além disto, as emissões de CO₂ também tem uma redução significativa comparativamente com a caldeira a gás natural. Na caldeira de pellets não são contabilizadas as emissões de CO₂, no entanto a eficiência e custo energético são superiores.

O lar contém, como emissores térmicos, radiadores, sendo a solução mais económica a substituição da fonte de calor existente por um sistema mais eficiente, mantendo os radiadores. No entanto, observou-se que para o aquecimento central o pavimento radiante é a tecnologia com maior impacto na eficiência energética do sistema. Isto deve-se à operação com baixa temperatura da água, no caso 35°C. Como não estão a ser avaliados os custos de obra, avançou-se com a implementação de piso radiante em toda área útil do edifício, sabendo-se que é necessária uma remodelação estruturante.

Para o cálculo de água quente sanitária, resolveu-se analisar a evolução da temperatura média da água acumulada, com o intuito de perceber qual o volume e capacidade da fonte de calor ideal para que nunca falte água quente para consumo. A utilização de uma solução para água quente sanitária de tipologia *acumulação parcial*, torna-se bastante importante para grande produção de AQS. Isto permite o desenvolvimento de um sistema otimizado, podendo ser possível aplicar uma acumulação e potência ajustada às necessidades do edifício. No caso da produção de AQS, a solução ao nível da fonte de calor também passa pela bomba de calor ar-água, sendo que a escolha da mesma se deve aos mesmos fatores que a escolha no aquecimento central.

Optou-se por fazer uma análise separada dos sistemas de aquecimento central e produção de AQS, pois serão necessárias temperaturas diferentes da água para cada um deles. Neste sentido serão escolhidas duas fontes de calor distintas para cada uma das aplicações.

Palavras-chave: Aquecimento central, Água Quente Sanitária, Eficiência energética, Bomba de Calor, Pavimento radiante.

Abstract

Currently, it is important to consider efficient air conditioning projects in buildings (in this case in central heating and domestic hot water production). The Energy Transition has been one of the main focuses of the European Union, translating into targets applied to Member States in order to reduce CO₂ emissions. According to the EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), around 40% of energy consumption comes from buildings and 75% of these buildings have low energy performance. The main objective will be to develop more efficient buildings in order to reduce dependence on fossil fuels and consequently reduce CO₂ emissions.

The objective of this project is to develop an energy-efficient central heating and domestic hot water production system in terms of equipment. The choice of a nursing home was important, because in addition to central heating, the production of large volumes of domestic hot water is also very important.

The development of the central heating system consisted, in the first phase, of calculating the thermal loads in heating, using energy simulation software (Hourly Analysis Program – CARRIER/ASHRAE). The choice of equipment was made based on these loads, but also through analysis of efficiencies and energy costs, in order to select the most suitable equipment, both in terms of heat source and thermal emitters.

Regarding central heating, the choice of heat source was the air-water heat pump (geothermal was not considered due to lack of area for drilling). This allows, through aerothermal, to obtain greater efficiencies compared to natural gas and pellet boilers. This efficiency translates into the energy bill, guaranteeing a significant reduction. In addition, CO₂ emissions also have a significant reduction compared to the natural gas boiler (pellets do not take into account CO₂ emissions, however the efficiency and energy cost are higher).

The home contains, as thermal emitters, radiators, the most economical solution being to replace the existing heat source with a more efficient system, while maintaining the radiators. However, it was observed that for central heating, underfloor heating is the technology with the greatest impact on the energy efficiency of the system. This is due to operation at low water temperature, in this case 35°C. As construction costs are not being evaluated, progress was made with the implementation of underfloor heating throughout the building's entire usable area, knowing that structural remodeling is necessary.

To calculate sanitary hot water, it was decided to analyze the evolution of the average temperature of the accumulated water, in order to understand the volume and capacity of the ideal heat source so that there is never a lack of hot water for consumption. The use of a solution for domestic hot water with a partial storage type becomes quite important for large DHW production. It allows the development of an optimized system, making it possible to apply accumulation and power adjusted to the needs of the building. In the case of DHW production, the solution in terms of heat source also involves the air-water heat pump, and the choice of this is due to the same factors as the choice in central heating.

It was decided to carry out a separate analysis of the central heating and DHW production systems, as different water temperatures will be required for each of them. In this sense, two different heat sources will be chosen for each of the applications.

Keywords: Central heating, Domestic Hot Water, Energy efficiency, Heat Pump, Under-floor heating.

Índice

1. Introdução	10
2. Metodologias de cálculo	12
2.1. Aquecimento Central.....	12
2.1.1. Cálculo de carga térmica em aquecimento	12
2.1.1.1. Expressão geral e forma de cálculo:.....	12
2.1.1.2. Carga térmica devido à envolvente	12
2.1.1.3. Carga térmica devido às infiltrações de ar	14
2.1.1.4. Ganhos térmicos úteis.....	14
2.1.1.5. Coeficiente de transmissão de calor de elemento opaco:	15
2.2. Produção de Água Quente Sanitária.....	16
2.2.1. Tipologias de sistemas.....	16
2.2.2. Metodologias de cálculo.....	16
2.2.2.1. Método de análise da distribuição de Consumo vs Produção.....	16
2.2.2.2. Método de análise de preparação antecipada de Água Quente Sanitária.....	17
2.2.3. Comportamento térmico no interior do depósito de acumulação.	18
2.2.3.1. Cálculo da energia de consumo e produção de AQS:.....	20
2.2.3.2. Temperatura instantânea no depósito:.....	20
2.2.3.3. Temperatura do depósito aplicando determinado apoio térmico (Q_{ap}) debitado por uma fonte de calor:	20
3. Resultados.....	21
3.1. Aquecimento Central.....	21
3.1.1. Características construtivas do edifício	21
3.1.1.1. Localização e zona climática	21
3.1.1.2. Envolvente opaca em contacto com o exterior:	21
3.1.1.3. Classificação dos espaços e envolvente.	25
3.1.2. Ganhos internos.....	30
3.1.3. Infiltração de ar	30
3.1.4. Cálculo geral da carga térmica.....	31
3.1.5. Necessidades de Aquecimento	31
3.2. Produção de AQS	34
3.2.1. Necessidades diárias de água quente sanitária em Lares de Idosos	34
3.2.2. Análise do comportamento térmico do depósito, segundo método da Análise da distribuição do Consumo vs Produção.	37
4. Solução técnica.....	42
4.1. Fonte de Calor	42

4.1.1.	Caldeira gás natural com condensação.....	42
4.1.2.	Caldeira a pellets.....	42
4.1.3.	Bombas de calor ar-água	44
4.2.	Solução técnica para Aquecimento Central.....	45
4.2.1.	Análise de consumos de energia, emissões de CO ₂ e custo de operação em Aquecimento Central.....	45
4.2.2.	Seleção fonte de calor para aquecimento central.....	47
4.2.3.	Seleção emissores térmicos para Aquecimento Central.....	48
4.2.3.1.	Radiadores	48
4.2.3.2.	Pavimento radiante	50
4.2.3.3.	Ventiloconvectores	53
4.2.3.4.	Vantagens e desvantagens	54
4.2.3.5.	Análise energética e seleção do emissor térmico	55
4.3.	Produção AQS	56
4.3.1.	Seleção fonte de calor para produção de Água Quente Sanitária	56
4.3.2.	Análise de consumos, emissões de CO ₂ e custos de operação na produção de Água Quente Sanitária	58
4.3.3.	Seleção fonte de calor para produção de Água Quente Sanitária	60
4.3.4.	Seleção depósito de acumulação para Água Quente Sanitária	61
4.3.6.	Solução final para produção de Água Quente Sanitária	63
6.	Conclusão	66
7.	Bibliografia	67
Anexo I – Dados ganhos internos.....		1
Anexo II – Cargas térmicas		6
Anexo III – Folha de cálculo		10
Anexo IV – Esquema de Princípio Hidráulico – Aquecimento Central		12
Anexo V – Esquema de Princípio Hidráulico – Produção de AQS.....		13

Índice de Figuras

Figura 1 – Imagem satélite do edifício em estudo de tipologia lar de idosos (LATI – Centro Comunitário do Bocage).....	11
Figura 2 – Distribuição de temperatura num elemento construtivo.	15
Figura 3 – Distribuição da energia acumulação associada ao consumo de em água quente (heat demand), enrgia debitada pela fonte de calor (heat supply) e perdas de energia do sistema (heat losses) [9]......	17
Figura 4 – Estratificação do depósito em regime estacionário.....	18
Figura 5 – Ilustração do circuito de consumo de AQS.	19
Figura 6 – Dados climáticos.	21
Figura 7 – Elementos construtivos das paredes em contato com o exterior.	21
Figura 8 – Elementos construtivos das paredes interiores.	22
Figura 9 – Elementos construtivos da cobertura geral.	23
Figura 10 – Elementos construtivos da cobertura ao nível do piso 1.	24
Figura 11 – Metodologia de delineação da envolvente.	26
Figura 12 – Delineação da envolvente com espaços do tipo B no Piso 0 (Rouparia e Armazém).	26
Figura 13 – Delineação da envolvente com espaços tipo B no Piso 0 (Arrecadação, Casa dos elevadores e Despensa).	27
Figura 14 – Delineação da envolvente com espaços tipo B no Piso 1.....	27
Figura 15 – Delineação da envolvente com contato com o exterior pelo pavimento no Piso 1.	28
Figura 16 – Delineação da envolvente do Piso 1 em contato com espaços Tipo B pelo pavimento.	28
Figura 17 – Delineação da envolvente do Piso 1 em contato com espaços Tipo B pelo teto.....	29
Figura 18 – Delineação da envolvente com espaços tipo B no piso 2.....	29
Figura 19 – Delineação da envolvente do piso 2 em contato com espaços tipo B pelo pavimento.	30
Figura 20 – Zonas climáticas segundo Diretiva Ecodesign.	32
Figura 21 – Histograma das Necessidades de Aquecimento ao longo do ano.	32
Figura 22 – Perfil de cargas parciais para clima quente – Portugal.	33
Figura 23 – Necessidades de AQS diárias.	35
Figura 24 – Gráfico do desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS com 5700l e potência térmica mínima a aplicada (42 kWt) para garantir o consumo de AQS diário.	39
Figura 25 – Gráfico de desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS com 5700l e uma potência térmica abaixo da mínima (40kWt).	40
Figura 26 – Gráfico de desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS, mantendo a potência térmica mínima de 42 kWt e um volume abaixo do definido segundo a legislação em vigor (5000lts).....	40
Figura 27 – Estrutura simples de uma caldeira a gás natural com condensação.	42
Figura 28 - Pellets	43
Figura 29 – Estrutura caldeira a pellets	43
Figura 30 – Circuito frigorífico de uma bomba de calor.	44
Figura 31 – Diagrama de fases de um circuito frigorífico de uma bomba de calor.	44
Figura 32 – Aerotermia.....	45
Figura 33 – Esquema de princípio hidráulico da solução de aquecimento com 2 Bombas de Calor em Cascata.	48

Figura 34 – Radiadores de alumínio.	49
Figura 35 – Cálculo de radiadores de alumínio em função do número de elementos.	49
Figura 36 – Controlo típico de radiadores.....	50
Figura 37 – Construção pavimento radiante em chão sólido.	51
Figura 38 – Construção pavimento radiante em chão flutuante.	51
Figura 39 – Coletor de distribuição do pavimento radiante.	52
Figura 40 – Tubagem pavimento radiante.....	52
Figura 41 – Instalação da tubagem do pavimento radiante em espiral e serpentina, com passo constante.	52
Figura 42 – Instalação da tubagem do pavimento radiante em espiral e serpentina, com passo variável.	53
Figura 43 – Esquema de um ventiloconvector.	53
Figura 44 – Esquema ligação hidráulica ventiloconvectores.	54
Figura 45 – Eficiência energética de uma bomba de calor ar-água genérica em função da temperatura de avanço da água e temperatura do ar exterior.	55
Figura 46 – Desempenho do sistema solar térmico de apoio às AQS.....	57
Figura 47 – Unidade Bomba de Calor a CO ₂ para produção de AQS.....	60
Figura 48 – Esquema de Princípio Hidráulico da solução para AQS.	62
Figura 49 – Características técnicas do depósito de AQS.	62
Figura 50 – Coletor solar térmico.....	63
Figura 51 – Desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS para a solução final.	64

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, btr.	13
Tabela 2 – Resistências térmicas parede exterior.	22
Tabela 3 – Resistências térmicas parede interior.	23
Tabela 4 – Resistências térmicas cobertura.	23
Tabela 5 – Resistências térmicas cobertura ao nível do piso 1.	24
Tabela 6 – Fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento.	25
Tabela 7 – Classificação da tipologia de espaços (Tipo A ou Tipo B).	25
Tabela 8 – Renovação de ar através da ventilação natural.	30
Tabela 9 – Resumo de cargas parciais.	33
Tabela 10 – Cálculo de cargas parciais.	34
Tabela 11 – Frações das necessidades de AQS num espaço de 1 hora.	35
Tabela 12 – Consumo diário de AQS para edifícios de comércio e serviços, conforme norma EN 12831-3.	36
Tabela 13 – Consumo diário em AQS, segundo norma EN 12831-3.	37
Tabela 14 – Consumo de água quente sanitária.	37
Tabela 15 – Consumo de água quente sanitária ao longo de um dia de utilização em AQS.	38
Tabela 16 – Energia térmica consumida ao longo de um dia de utilização em AQS.	38
Tabela 17 – Comparação dos consumos de energia e emissões de CO ₂ , em aquecimento central.	46
Tabela 18 – Comparação do custo de operação das soluções para aquecimento central.	46
Tabela 19 – Características técnicas bomba de calor Carrier 61AF-055, solução aquecimento central.	47
Tabela 20 – Temperaturas de trabalho de emissores térmicos.	48
Tabela 21 – Tabela de seleção de radiadores.	50
Tabela 22 – Pros e Contras de cada emissor térmico.	54
Tabela 23 – Energia térmica acumulada, debitada pela fonte de calor na solução ideal (soluções) de produção de AQS.	56
Tabela 24 – Fração solar, do sistema solar térmico, ao longo de 24h.	57
Tabela 25 – Consumos de energia em AQS, para as 3 soluções comparadas.	58
Tabela 26 – Emissões de CO ₂ , para as 3 soluções comparadas	58
Tabela 27 – Custo de eletricidade no mercado regulado, modelo tri-horário.	59
Tabela 28 – Custo de exploração da solução Bomba de Calor, em água quente sanitária.	59
Tabela 29 – Custo de exploração anual das soluções para AQS.	60
Tabela 30 – Características técnicas Bomba de Calor AQS.	61
Tabela 31 – Comparação de consumos entre equipamento selecionado e caldeira a gás natural.	65
Tabela 32 – Comparação de emissões de CO ₂ entre equipamentos selecionados e caldeira a gás natural.	65
Tabela 33 – Comparação de custo de operação entre equipamentos selecionados e caldeira a gás natural.	65

Lista de Siglas e Acrónimos

$\Delta Q_{\max}$	Maior diferença entre o consumo de energia em AQS e a energia debitada pela fonte de calor [kWh]
ΔT_m	Temperatura média da superfície de um radiador [°C]
a_1	Coeficiente de primeira ordem [W/m ² K]
a_2	Coeficiente de segunda ordem [W/m ² K]
A_i	Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício [m ²]
A_i	Área do pavimento em contacto com o solo i, medida pelo interior do edifício [m ²];
A_p	Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m ²]
AQS	Água Quente Sanitária
A_{sol}	Área de abertura do coletor [m ²]
A_u	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior [m ²]
B_j	Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior do edifício [m]
b_{tr}	Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente
COP	Eficiência em aquecimento de bomba de calor (numa determinada condição)
c_p	Calor específico da água [kJ/kg°K]
ENU	Espaços não úteis
EPBD	Energy Performance of buildings Directive
F	Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.
f	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem abertura de ventilação permanentemente abertas
GD	Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III [°C.dia]
H_{adj}	Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/°C]
HAP	Hourly Analysis Program
H_{ecs}	Coeficiente de transmissão de calor através de elementos em contacto com o solo [W/°C]
H_{enu}	Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis [W/°C]
H_{enu}	O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis
H_{ext}	Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C]
$H_{\text{tr},i}$	Coeficiente global de transmissão de calor [W/°C];
$H_{\text{tr},i}$	Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [W/°C].
H_{ve}	Coeficiente de transmissão térmica devido às infiltrações/ventilação [W/°C]
IAM	Modificador de ângulo de incidência
m_{acum}	massa de água acumulada [kg]
m_{cons}	Massa de consumo de água quente sanitária [kg]
m_f	Massa água fria da rede de abastecimento [kg];
P_d	Pé direito médio da fração [m];
P_j	Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j, medido pelo interior [m]
Q_{ap}	Carga térmica em aquecimento [kWh]

Q_{cons}	Energia associada ao consumo de água à temperatura de consumo [kWh]
Q_{dep}	Energia que o depósito perde quando arrefece [kWh]
$Q_{\text{g},i}$	Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh]
$Q_{\text{gu},i}$	Ganhos térmicos [kWh]
$Q_{\text{int},i}$	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento – ocupação, equipamentos [kWh]
$Q_{\text{sol},i}$	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento [kWh]
$Q_{\text{tr},i}$	Carga térmica devido à envolvente [kWh]
Q_{ve}	Carga térmica devido às infiltrações/ventilação durante a estação de aquecimento [kWh]
$Q_{\text{ve},i}$	Carga térmica devido a infiltrações de ar [kWh]
R_j	Resistência térmica da camada j [$\text{m}^2\text{°C/W}$]
R_{ph}	Taxa nominal horária de renovação do ar interior [h^{-1}]
R_{si}	Resistência térmica interior [$\text{m}^2\text{°C/W}$]
SCOP	Eficiência sazonal em aquecimento de uma bomba de calor
T_1	Temperatura da água fria da rede [°C]
T_2	Temperatura de consumo [°C]
T_A	Termostato ambiente
T_{cons}	Temperatura de consumo [°C]
T_d	Temperatura de acumulação [°C]
T_{df}	Temperatura do depósito final [°C]
T_{di}	Temperatura do depósito inicial [°C]
T_f	Temperatura de abastecimento [°C]
T_{in}	Temperatura entrada de água num radiador [°C]
T_{out}	Temperatura saída da água num radiador [°C]
U	Coeficiente de transmissão de calor de elemento opaco [$\text{W/m}^2\text{°C}$]
U_{bfi}	Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i [$\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$]
U_{bwj}	Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [$\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$]
U_i	Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente [$\text{W}/(\text{m}^2\text{°C})$]
V_{DHW}	Volume mínimo de água acumulada [L]
V_{enu}	Volume do espaço não útil [m^3].
Z_j	Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j, [m];
η_{col}	Eficiência do coletor [%]
η_i	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
η_o	Eficiência com perdas nulas
ρ	massa específica da água [kg/m^3]
ϕ_j	Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j [$\text{W}/(\text{m}^{\circ}\text{°C})$];
R_{se}	Resistência térmica exterior [$\text{m}^2\text{°C/W}$]
T_{amb}	Temperatura ambiente requerida [°C]

1. Introdução

Após a revolução industrial na Grã-Bretanha durante o século XVIII, o uso de máquinas para substituição do trabalho humano na produção aumentou exponencialmente. Estas máquinas, que na grande maioria dos casos, usavam o carvão como combustível para gerar energia mecânica e com isto auxiliar na produção em massa, iniciaram um aumento significativo de emissões de CO₂ para a atmosfera.

Este progresso industrial veio, mais tarde, a ser um motor de desenvolvimento de equipamentos associados ao aquecimento, começando com o desenvolvimento de caldeiras para aquecimento central e produção de água quente, aplicado em diferentes sectores, desde o sector industrial e de produção, como no sector habitacional.

No início do século XX, o Eng^o Willis Carrier desenvolveu o primeiro equipamento de ar condicionado moderno, conseguindo, desde modo, criar um ambiente mais confortável no interior das habitações familiares [1]. Com o passar do tempo e o aumento da qualidade de vida na Europa, o investimento em ar condicionado e aquecimento, por parte das famílias e empresas, para criar conforto no interior dos edifícios, veio a aumentar. Com isto, o foco na descarbonização passou a ser, também ele, importante no sector dos edifícios (em especial nas instalações de climatização). Nos dias que correm, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia total da Europa e 36% das emissões de CO₂ para a atmosfera [2].

Em Portugal, as necessidades de aquecimento são reduzidas comparativamente com as necessidades de arrefecimento, devendo-se às temperaturas exteriores elevadas em comparação com outros países da Europa. Segundo a diretiva Ecodesign, Portugal está, na grande maioria do seu território, classificado como “clima quente” [3], no entanto, é importante perceber, que devido à baixa qualidade construtiva dos edifícios e ao aumento do custo da energia, existe uma incidência grande da chamada “Pobreza Energética”. Estima-se que entre 1,8 e 3 milhões de portugueses estejam em situação de pobreza energética, dos quais 609 mil a 660 mil se encontram em estado de pobreza energética severa [4]. Para o executivo comunitário, a pobreza energética acarreta um vasto conjunto de patologias adversas para a saúde e bem-estar dos cidadãos, como são problemas respiratórios e o próprio stress causado por não conseguir cumprir com os compromissos de pagamento das faturas energéticas [5]. Apesar de esta designação estar bastante associada ao setor residencial, a climatização deficiente de um edifício de tipologia lar de idosos, pode gerar problemas graves de saúde, sendo um ponto importante no desenvolvimento deste projeto.

Considerando a emergência climática e crise energética pela qual as comunidades estão a passar, a dificuldade em climatizar os edifícios (pobreza energética) e os problemas para a saúde que daí advêm, leva à importância da intervir nos edifícios de forma a torná-los mais eficientes. Para tal, é necessária uma remodelação construtiva, utilizando materiais mais eficientes, mas também implementação de equipamentos com maior eficiência energética.

O edifício utilizado como base para o projeto é um lar de idosos e está localizado em Setúbal. Dispõe de uma área útil de cerca de 4000 m² e capacidade para alojar 73 utentes. No ponto de vista de equipamentos instalados, dispõe de um sistema de caldeiras a gás natural com 300 kW aplicado no aquecimento central através de radiadores e produção de água quente sanitária. Ainda dispõe de um conjunto de 56 coletores solares térmicos, figura 1.

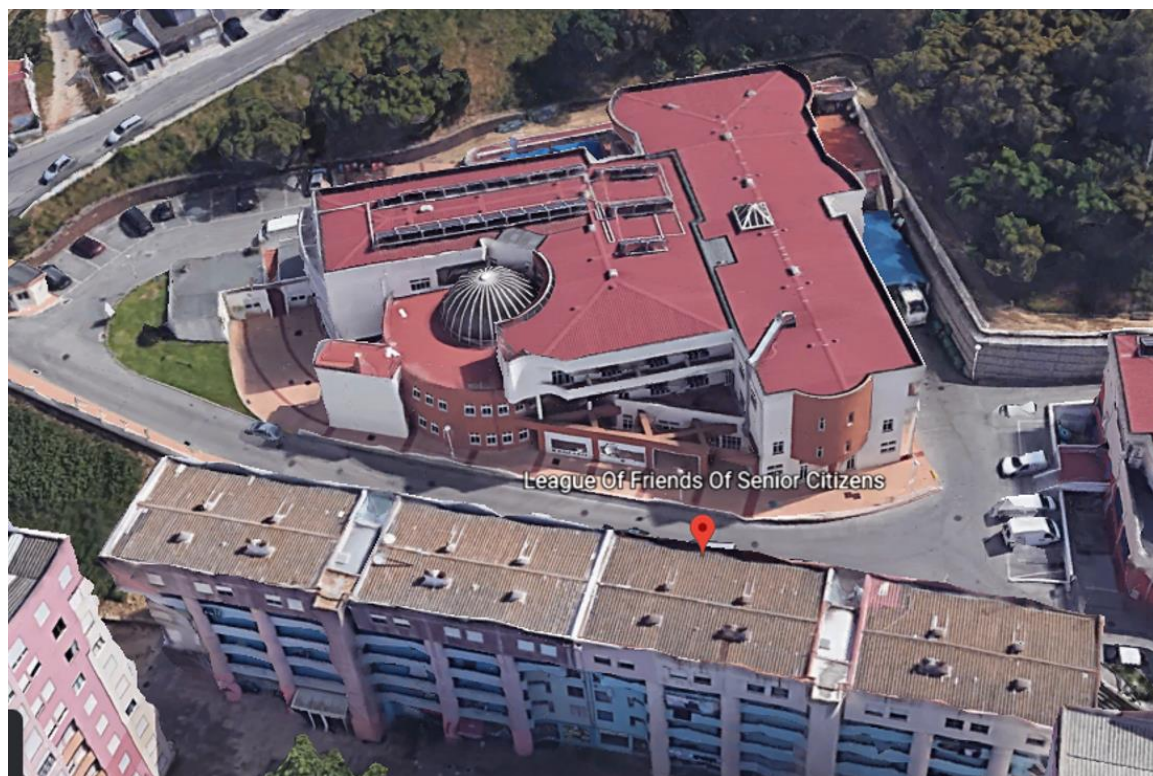


Figura 1 – Imagem satélite do edifício em estudo de tipologia lar de idosos (LATI – Centro Comunitário do Bocado)

A utilização de caldeiras a gás natural leva a níveis de emissão de CO₂ e custos energético elevados. O objetivo do presente projeto é desenvolver soluções de aquecimento e produção de água quente sanitária eficientes e sustentáveis, de forma a não só garantir o conforto térmico, mas também uma redução significativa do nível de emissões.

Não existe informação relativamente à marca e modelo das caldeiras instaladas, nem dos consumos de energia das mesmas. Logo para efeitos de avaliação de eficiência energética, em comparação com outras fontes de calor, será utilizado rendimentos típicos retirados de catálogos dos fabricantes no mercado, e consideradas estimativas de consumos energéticos.

2. Metodologias de cálculo

2.1. Aquecimento Central

2.1.1. Cálculo de carga térmica em aquecimento

A primeira fase do dimensionamento de um sistema de aquecimento central passa pelo cálculo da carga térmica do edifício. Esta carga térmica tem em conta o comportamento térmico do edifício no pico das necessidades, tanto em aquecimento como em arrefecimento.

No presente projeto o foco será exclusivamente no cálculo da carga térmica em aquecimento, visto tratar-se de um estudo e dimensionamento para um sistema para aquecimento central.

Segundo o despacho 15793-I/2013 [6]: “As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são determinadas, para efeitos do presente despacho, de acordo com as disposições da norma europeia EN ISO 137900, considerando: a) O método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma; b) Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência; c) A ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento.”

2.1.1.1. Expressão geral e forma de cálculo:

As necessidades anuais de energia útil em aquecimento têm em conta os seguintes parâmetros:

- Transferência de calor através da envolvente do edifício;
- Ganhos ou perdas de calor devido às infiltrações de ar (também ventilação, p.e. ar novo);
- Ganhos térmicos (radiação solar, iluminação, equipamentos e ocupação).

Neste sentido, a expressão para a carga térmica em aquecimento é dada pelo seguinte:

$$Q_{aq} = Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i} \text{ [kWh]} \quad [1]$$

Q_{aq} → Carga térmica em aquecimento [kWh]

$Q_{tr,i}$ → Carga térmica devido à envolvente [kWh]

$Q_{ve,i}$ → Carga térmica devido a infiltrações de ar [kWh]

$Q_{gu,i}$ → Ganhos térmicos (kWh)

2.1.1.2. Carga térmica devido à envolvente

A transferência de calor ocorre no sentido de uma fonte quente para uma fonte fria, logo as perdas de calor para o exterior, durante o período de inverno, tornam-se o principal foco no cálculo da carga térmica, especialmente quando as temperaturas exteriores são significativamente menores comparativamente com a temperatura interior. Com isto, sempre que um sistema de aquecimento é dimensionado, deverá dispor de uma capacidade suficiente para manter o conforto térmico no interior do edifício.

Portanto, a carga térmica devido à envolvente deve-se à transferência de calor entre o interior e o exterior através da envolvente opaca do edifício (paredes, portas, entre outros...).

Segundo o despacho nº 15793-K/2023 [7], o coeficiente global de transmissão de calor pela envolvente, para a estação de aquecimento, é dado pela seguinte expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad [W/^{\circ}C] \quad [2]$$

$H_{tr,i}$ → Coeficiente global de transmissão de calor ($W/^{\circ}C$);

H_{ext} → Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior ($W/^{\circ}C$);

H_{enu} → Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis ($W/^{\circ}C$);

H_{adj} → Coeficiente de transmissão de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes ($W/^{\circ}C$);

H_{ecs} → Coeficiente de transmissão de calor através de elementos em contacto com o solo ($W/^{\circ}C$).

O coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior, H_{ext} , calcula-se através da seguinte expressão:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\varphi_j \cdot B_j] \quad [W/^{\circ}C] \quad [3]$$

U_i → Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente [$W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$];

A_i → Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício [m^2];

φ_j → Coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j [$W/(m^{\circ}C)$];

B_j → Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j, medido pelo interior do edifício [m].

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis, H_{enu} , e em contacto com edifícios adjacentes, H_{adj} , calculam-se ambos de acordo com a seguinte expressão:

$$H_{enu; adj} = b_{tr} + (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\varphi_j \cdot B_j]) \quad [W/^{\circ}C] \quad [4]$$

b_{tr} → Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, determinado de acordo com o descrito na Tabela 1:

Tabela 1 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis, b_{tr} .

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Nota: Para espaços fortemente ventilador, b_{tr} deverá tomar o valor de 1,0.

f → Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem abertura de ventilação permanentemente abertas;

F → Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

A_u → Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior.

V_{enu} → volume do espaço não útil.

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo, H_{ecs} , deve ser feito de acordo com a metodologia definida na norma EN ISO 13370, ou através da seguinte expressão:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bfi} \cdot A_i] + \sum_j [z_j \cdot P_j \cdot U_{bwj}] \quad [W/^{\circ}C] \quad [5]$$

U_{bfi} → Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i [$W/(m^2^{\circ}C)$];

A_i → Área do pavimento em contacto com o solo i, medida pelo interior do edifício [m^2];

z_j → Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo j, [m];

P_j → Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j, medido pelo interior [m];

U_{bwj} → Coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [$W/(m^2^{\circ}C)$];

A expressão para a carga térmica devido à envolvente, $Q_{tr,i}$, é então dada pela seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \quad [kWh] \quad [6]$$

GD → Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III [$^{\circ}C \cdot dia$];

$H_{tr,i}$ → Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [$W/^{\circ}C$].

2.1.1.3. Carga térmica devido às infiltrações de ar

As infiltrações de ar “frio” vindo do exterior, também são contabilizadas no cálculo da carga térmica. Estas infiltrações surgem essencialmente através de frechas e/ou pequenas aberturas para com o exterior. Um outro elemento é a introdução de ar novo não tratado termicamente, vindo do sistema de ventilação mecânica.

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica devido às infiltrações/ventilação, H_{ve} , é calculado através da seguinte expressão:

$$H_{ve} = 0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d \quad [W/^{\circ}C] \quad [7]$$

R_{ph} → taxa nominal horária de renovação do ar interior [h^{-1}];

A_p → Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, [m^2];

P_d → Pé direito médio da fração [m];

A expressão para a carga térmica devido às infiltrações/ventilação durante a estação de aquecimento, Q_{ve} , é então calculada pela seguinte expressão:

$$Q_{ve} = 0,024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \quad [kWh] \quad [8]$$

2.1.1.4. Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos são, no seu todo, um benefício ao aquecimento ambiente. Estes surgem essencialmente através de radiação solar, libertação de energia devido a equipamento e ocupação.

A conversão da parte dos ganhos térmicos brutos que se traduzem em ganhos térmicos úteis, na estação de aquecimento, é calculado através da seguinte expressão:

$$Q_{gui,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \quad [kWh] \quad [9]$$

$\eta_i \rightarrow$ Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento;

$Q_{g,i} \rightarrow$ Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento [kWh];

Os ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens, conforme equação seguinte:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \text{ [kWh]} \quad [10]$$

$Q_{int,i} \rightarrow$ Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento – ocupação, equipamentos [kWh];

$Q_{sol,i} \rightarrow$ Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento [kWh].

2.1.1.5. Coeficiente de transmissão de calor de elemento opaco:

O valor U de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constantes, é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$U = 1/(R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}) \text{ [W/(m}^2\text{°C)]} \quad [11]$$

$R_j \rightarrow$ Resistência térmica da camada j [m²°C/W];

$R_{si} \rightarrow$ Resistência térmica interior [m²°C/W];

$R_{se} \rightarrow$ Resistência térmica exterior [m²°C/W].

A figura 2 ilustra a evolução da temperatura do ar ao através as diferentes camadas constituintes de uma parede (elemento opaco):

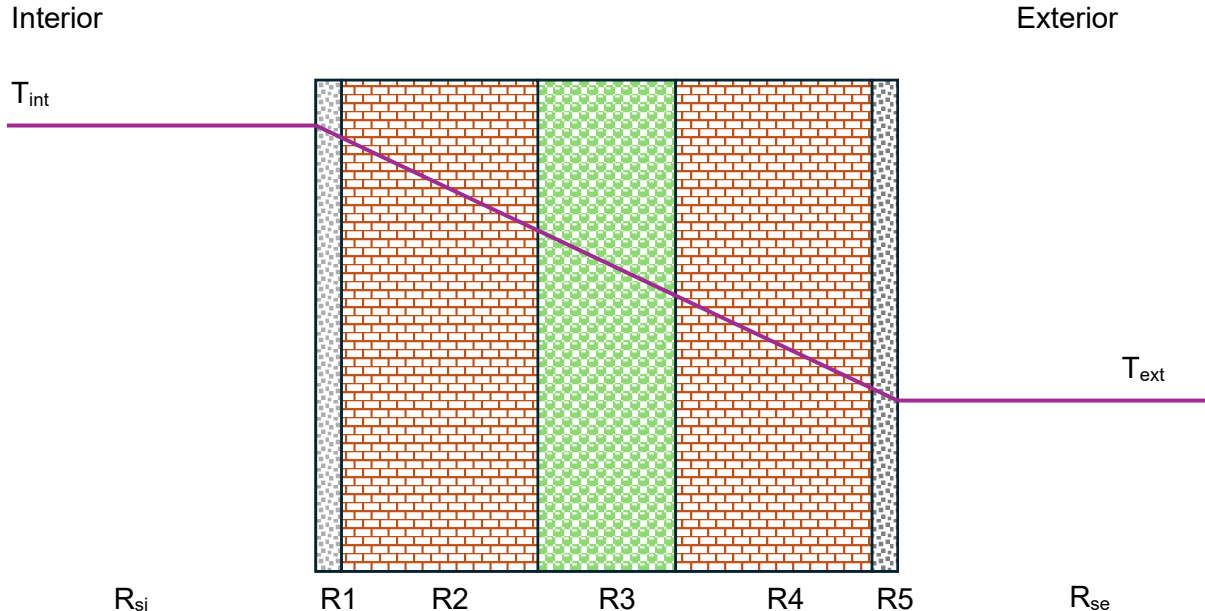


Figura 2 – Distribuição de temperatura num elemento construtivo.

2.2. Produção de Água Quente Sanitária

É comum, num projeto para produção de água quente sanitária (AQS), o confronto com dificuldades na escolha do volume de acumulação, tal como temperaturas e potências térmicas. Isto deve-se às grandes incertezas relativas ao perfil de consumo numa determinada tipologia de edifícios. Nestas condições, é recorrente os sistemas de produção de AQS estarem sobredimensionados, traduzindo-se em maiores consumos de energia e consequentemente maiores emissões de CO₂.

De forma a evitar este tipo de situação, tem-se como objetivo, definir uma metodologia de cálculo que permita dimensionar os elementos da solução de forma mais eficaz possível e garantindo um sistema de AQS ideal.

2.2.1. Tipologias de sistemas

A produção de Água Quente Sanitária (AQS) poderá traduzir-se em duas formas:

- Acumulação de água quente - a fonte de calor troca energia com uma acumulação de água:

- Acumulação total – O volume de água quente utilizado é o total para o consumo diário;
- Acumulação parcial – O volume de água quente é o suficiente para garantir um funcionamento contínuo da fonte de calor sem que falte água quente ao longo do dia.

- Produção instantânea de água quente - a fonte de calor debita diretamente água quente na rede de consumo.

A escolha das soluções em causa define-se, essencialmente, através do perfil de consumo e da tipologia do edifício (se esta inserido na rede de gás natural ou não, ou se existe infraestruturas para qualquer outro tipo de gás e/ou combustível fóssil). Na grande maioria dos casos, a produção de AQS instantânea é feita através de esquentadores e/ou caldeiras murais preparadas para tal, sendo estes equipamentos de potências normalmente superiores. [8]

2.2.2. Metodologias de cálculo

2.2.2.1. Método de análise da distribuição de Consumo vs Produção

Este método prevê, através de uma análise horária em função de um perfil de consumo num período de 24 horas, definir a distribuição de energia consumida em AQS e respetiva energia térmica necessária a debitar pela fonte de calor em cada momento.

O objetivo principal, deste método, é otimizar o volume de água quente, ou seja, obter uma acumulação mínima, suficiente para garantir a quantidade de água quente necessária para o consumo diário.

Segundo [9], é possível obter-se um volume de acumulação, através de um comparativo diário entre a energia consumida nas águas sanitárias (heat demand) e a energia debitada pela fonte de calor (heat supply).

A análise diária (24h) destes dois perfis permite perceber qual o volume mínimo necessário de acumulação para que entre picos de consumo de água quente não haja falta de energia armazenada. A metodologia impõe que se avalie as distribuições de energia de forma acumulada, e deste modo trabalhar sobre um diferencial entre a energia que está a ser consumida e a que está a ser armazenada no depósito.

A figura 3 representa uma distribuição típica de uma análise através deste método. Conforme se pode observar, a linha azul tracejada (Q_{1p}) representa a acumulação da energia debitada pela fonte de calor, esta encontra-se numa posição superior à linha

vermelha (Q_{2p}) da acumulação da energia consumida em água quente sanitária. Ainda podem ser consideradas as perdas acumuladas de energia no sistema (heat losses), que estão representadas pela linha verde tracejada (Q_{2z}) [9].

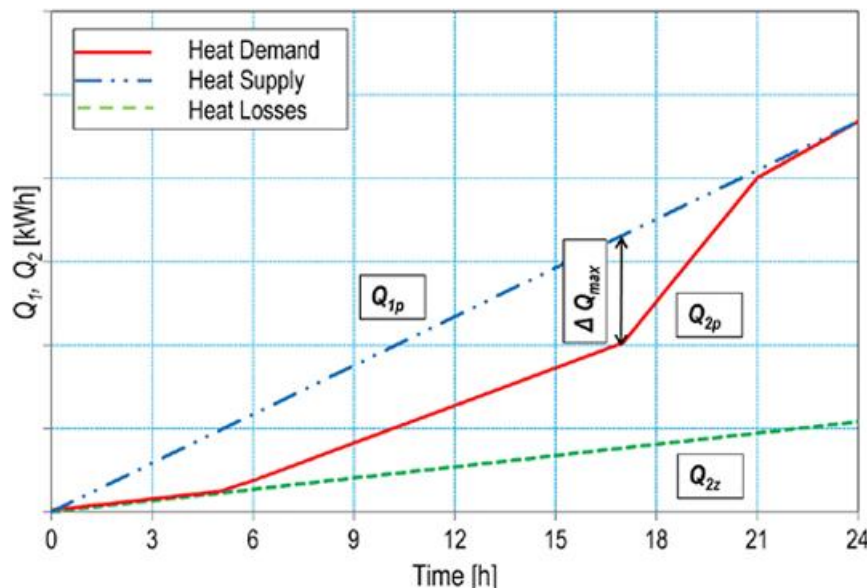


Figura 3 – Distribuição da energia acumulação associada ao consumo de em água quente (heat demand), energia debitada pela fonte de calor (heat supply) e perdas de energia do sistema (heat losses) [9].

O método de cálculo para o volume mínimo de acumulação, considera a maior diferença entre o que está a ser consumido e o debitado pela fonte de calor. Ou seja, o armazenamento de energia sob a forma de água quente acumulada deve de ser o suficiente para que entre picos de consumo não haja falta de água quente sanitária.

A seguinte expressão representa o cálculo do volume mínimo de água quente acumulada.

$$V_{DHW} = \frac{\Delta Q_{max}}{\rho \times c_p \times (T_2 - T_1)} \times 3600 \times 1000 \quad [12]$$

V_{DHW} → Volume mínimo de água acumulada (l)

ΔQ_{max} → Maior diferença entre o consumo de energia em AQS e a energia debitada pela fonte de calor (kWh)

ρ → massa específica da água (kg/m³)

c_p → Calor específico da água (kJ/kg°C)

T_2 → Temperatura de consumo (°C)

T_1 → Temperatura da água fria da rede (°C)

2.2.2.2. Método de análise de preparação antecipada de Água Quente Sanitária

Ao contrário do método acima mencionado, a preparação antecipada de AQS visa ser um modelo de dimensionamento para sistemas integrados onde a fonte de calor poderá operar em climatização ou AQS, com recurso a uma válvula de 3 vias. Ou seja, o objetivo é garantir um volume de acumulação suficiente, a determinada temperatura, para o consumo diário. Sendo que a fonte de calor trabalha continuamente durante um período limitado para reaquecer esse volume de água (normalmente durante o período da noite, onde não existe consumos significativos de água quente) [9].

Por norma, este tipo de desenho de solução precisa de maiores volumes de água, visto que a reposição da temperatura poderá só ser feita após o consumo diário e não durante, através de uma programação da fonte de calor.

Posto isto, este método não irá ser utilizado no presente projeto, devido aos grandes consumos de água quente. A utilização de um sistema dimensionado através deste método levaria a um volume de acumulação bastante elevado o que implicaria uma incompatibilidade entre a dimensão dos depósitos e a dimensão da área técnica.

2.2.3. Comportamento térmico no interior do depósito de acumulação.

O foco principal no cálculo de AQS é o volume de acumulação a utilizar. Este tópico é extremamente importante porque a dificuldade em prever o consumo de água quente sanitária, num determinado edifício, é grande. Para tal, é crucial perceber o cálculo associado à temperatura da água no interior do depósito ao longo de um perfil de consumo.

A temperatura da água no interior do depósito deve variar entre a temperatura definida para acumulação (temperatura de set-point) e a de consumo (banhos, lavagens, entre outros...). Sendo que quanto maior a temperatura da água acumulada, maior a energia disponível para consumo de AQS. No entanto, maior será a potência térmica da fonte de calor, de modo a elevar a temperatura até ao valor desejado.

A temperatura da água quente de consumo varia em função do utilizador, sendo por norma, em média, aproximadamente 40°C. Esta temperatura resulta de uma mistura entre água quente (acumulação) e água fria (água da rede), que poderá ser feita através de uma válvula misturadora termostática e/ou nas próprias torneiras.

Nos depósitos com água quente acumulada existe um fenómeno de estratificação. Ou seja, no topo do depósito, a temperatura será igual ou idêntica à temperatura de acumulação, sendo que na parte inferior a temperatura será inferior. Isto deve-se ao facto de a água com menor temperatura (mais densa) ser levada para a zona inferior do depósito devido à gravidade, “empurrando” a água de maior temperatura (menos densa) para a zona superior. Conforme observado figura 4:

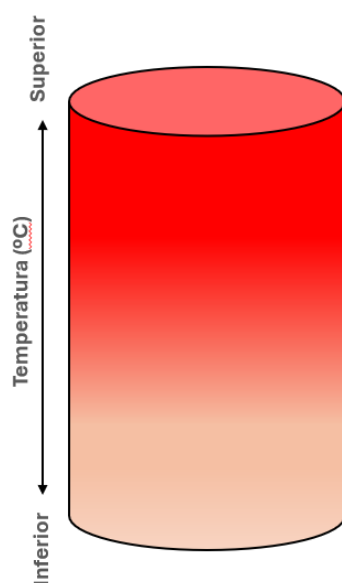


Figura 4 – Estratificação do depósito em regime estacionário.

A linha de consumo de água quente está sempre no topo do depósito. Deste modo, a primeira água a ser consumida é a de maior temperatura. No entanto, o cálculo da estratificação do depósito e a previsão do seu comportamento num regime dinâmico (onde existe alteração permanentes de temperatura devido à energia debitada pela fonte de calor) é complexo. Optou-se deste modo por utilizar uma temperatura média do depósito, sendo uma forma conservadora de garantir os resultados corretos.

Perceber o cálculo de equilíbrio térmico, através do balanço de energia, é importante para garantir uma otimização da dimensão do depósito (equilíbrio entre volume, temperatura da água e capacidade térmica da fonte de calor). Para tal é importante ter informações sobre a massa de água fria abastecida pela rede (m_f). Esta irá não só arrefecer o depósito como será utilizada para “baixar” a temperatura da água quente (T_d) libertada pelo mesmo, até à temperatura da água de consumo (T_{cons}), através de uma válvula termostática.

Estas massas de água de consumo e fria (m_{cons} , m_f , respetivamente) são iguais. A massa de água de consumo é obtida em função do debito dos pontos de consumo da instalação (chuveiros, torneiras, entre outros...). Conforme figura 5:

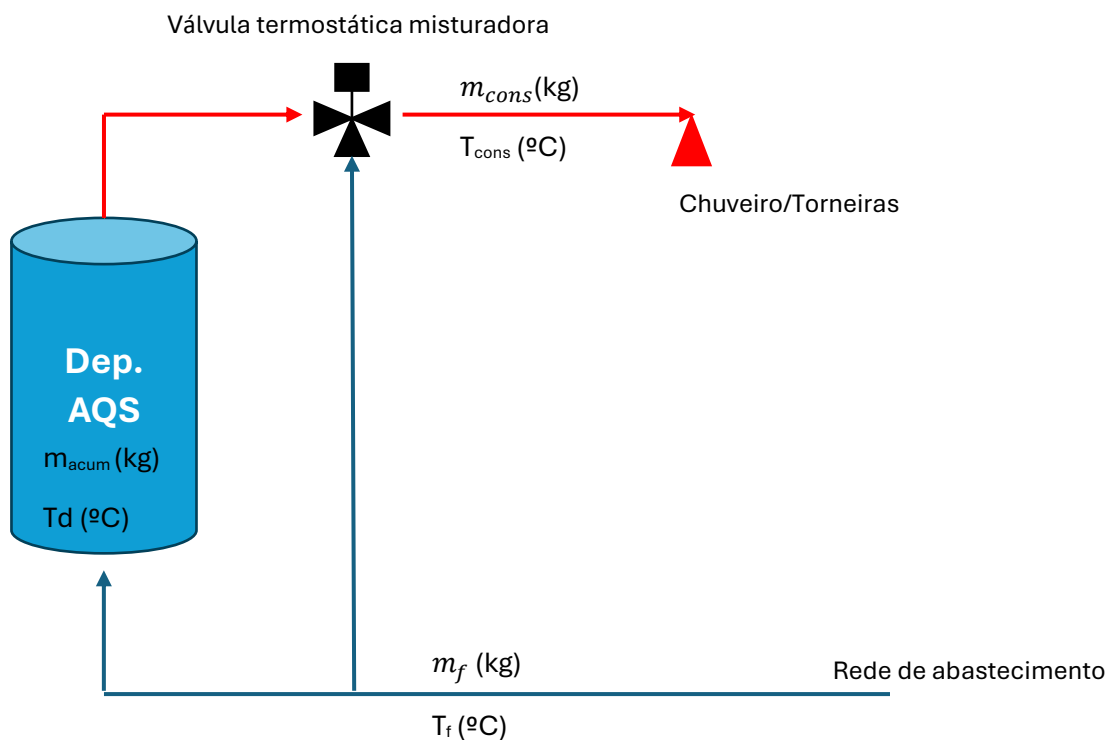


Figura 5 – Ilustração do circuito de consumo de AQS.

m_f – massa água fria da rede de abastecimento (kg);

T_f – Temperatura de abastecimento ($°C$);

m_{cons} – massa de consumo de água quente sanitária (kg);

T_{cons} – Temperatuda de consumo ($°C$);

m_{acum} – massa de água acumulada (kg);

T_d – Temperatuda de acumulação ($°C$);

2.2.3.1. Cálculo da energia de consumo e produção de AQS:

Considera-se a energia térmica em AQS (Q_{cons}), a energia associada ao consumo de água à temperatura de consumo:

$$Q_{cons} = m_{cons} \times C_p \times (T_{cons} - T_f) \quad [13]$$

A energia que o depósito perde quando arrefece (Q_{dep}) é calculada da seguinte forma:

$$Q_{dep} = m_{acum} \times c_p \times (T_{di} - T_{df}) \quad [14]$$

$T_{di} \rightarrow$ Temperatura do depósito inicial.

$T_{df} \rightarrow$ Temperatura do depósito final.

2.2.3.2. Temperatura instantânea no depósito:

Para se obter a temperatura da água no depósito quando não existe apoio térmico, será necessário considerar um balanço de energia entre a energia térmica consumida em AQS (Q_{cons}) e a energia térmica associada à baixa de temperatura no depósito após esse consumo (Q_{dep}), sendo ambas iguais:

$$Q_{cons} = Q_{dep}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$m_{cons} \times c_p \times (T_{cons} - T_f) = m_{acum} \times c_p \times (T_{di} - T_{df})$$

$$\Leftrightarrow$$

$$T_{df} = T_{di} - \frac{m_{cons} \times c_p \times (T_{cons} - T_f)}{m_{acum} \times c_p} \quad [15]$$

2.2.3.3. Temperatura do depósito aplicando determinado apoio térmico (Q_{ap}) debitado por uma fonte de calor:

$$Q_{cons} - Q_{ap} = Q_{dep}$$

$$\Leftrightarrow$$

$$m_{cons} \times c_p \times (T_{cons} - T_f) - Q_{ap} = m_{acum} \times c_p \times (T_{di} - T_{df})$$

$$\Leftrightarrow$$

$$T_{df} = T_{di} - \frac{m_{cons} \times c_p \times (T_{cons} - T_f) - Q_{ap}}{m_{acum} \times c_p} \quad [16]$$

3. Resultados

3.1. Aquecimento Central

3.1.1. Características construtivas do edifício

3.1.1.1. Localização e zona climática

O edifício em questão situa-se em Setúbal, numa zona climática I1 numa altitude de ~44m. Conforme figura 6:

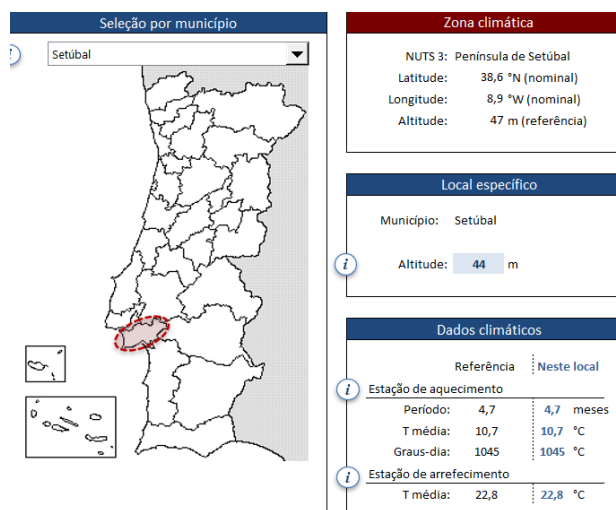


Figura 6 – Dados climáticos.

3.1.1.2. Envolvente opaca em contacto com o exterior:

Devido à falta de informação sobre os elementos construtivos do edifício, assumiu-se segundo o documento ITE50 [10] um conjunto de soluções construtivas para fins de cálculo da carga térmica pela envolvente:

3.1.1.2.1. Paredes exteriores:

A parede em contacto com o exterior é constituída por duas camadas de reboco (1 – Interior e 5 – Exterior), dois elementos de pano de tijolo (2- Interior e 4 – Exterior) e ao centro um elemento isolante XPS. Conforme se pode observar na figura 7 e tabela 2:

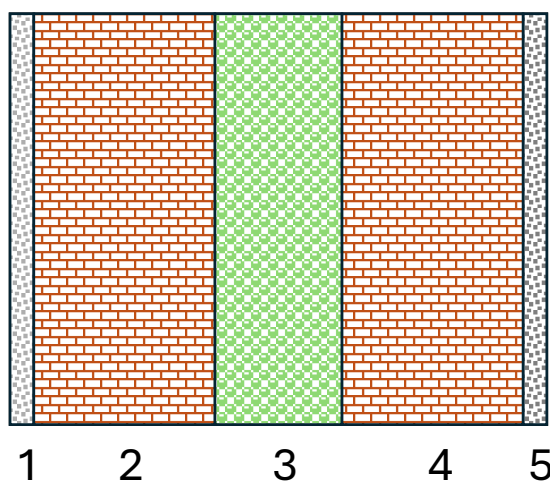


Figura 7 – Elementos construtivos das paredes em contato com o exterior.

1 – Reboco 15mm;

2 – Pano de Tijolo 30x20x11 cm;

- 3 – Isolamento 4cm XPS;
- 4 – Pano de tijolo 30x20x11 cm;
- 5 – Reboco 15mm.

Tabela 2 – Resistências térmicas parede exterior.

Ref.	Estrutura	ρ [kg/m ³]	e [m]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]
1	Reboco	1800	0,02	1,3	0,012
2	Pano Tijolo	1364	0,11	-	0,27
3	Isolamento XPS	40	0,04	0,037	0,651
4	Pano Tijolo	1364	0,11	-	0,27
5	Reboco	1800	0,02	1,3	0,012

Os valores de resistência térmica superficial exteriores e interiores considerados são:

Resistência térmica superficial exterior - $R_{se}=0,04$ m²°C/W

Resistência térmica superficial interior - $R_{si}=0,13$ m²°C/W

Coeficiente global de transmissão de calor - $U=0,722$ W/m²K

3.1.1.2.2. Paredes interiores:

As paredes interiores são constituídas por duas camadas de reboco (1 – interior e 3 – exterior) e um pano de tijolo interior. Conforme observado na figura 8 e tabela 3:

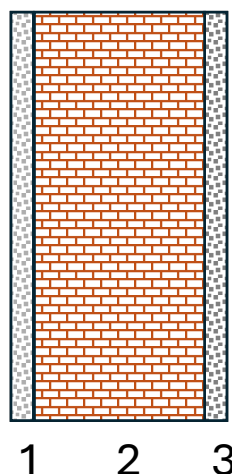


Figura 8 – Elementos construtivos das paredes interiores.

- 1 – Reboco 15mm;
- 2 – Tijolo 15cm;
- 3 – Reboco 15mm;

Tabela 3 – Resistências térmicas parede interior.

Ref.	Estrutura	ρ [kg/m ³]	e [m]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]
1	Reboco	1800	0,02	1,3	0,012
2	Pano Tijolo	1364	0,15	-	0,39
5	Reboco	1800	0,02	1,3	0,012

Coeficiente global de transmissão de calor - $U=2,14$ W/m²K

3.1.1.2.3. Cobertura geral:

Na cobertura considerou-se uma estrutura em telha inclinada com um desvão inclinado sobre o teto. Conforme exemplificado na figura 9 e propriedades da tabela 4:

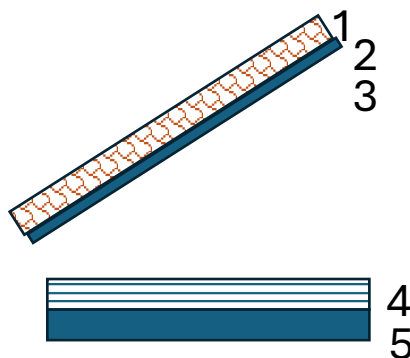


Figura 9 – Elementos construtivos da cobertura geral.

- 1 – Telha;
- 2 – Estrutura de suporte;
- 3 – Desvão de cobertura sobre esteira horizontal;
- 5 – Esteira horizontal em laje (aligeirada);
- 6 – Reboco 15 cm

Tabela 4 – Resistências térmicas cobertura.

Ref.	Estrutura	ρ [kg/m ³]	e [m]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]
1	Revestimento descontínuo (Telha)	1300	0,05	0,5	0,100
2	Desvão ventilado (sobre esteira)	-	-	-	0,11
3	Esteira em laje	-	-	-	0,357
4	Reboco	1800	0,015	1,3	0,012

Resistência térmica superficial exterior - $R_{se}=0,04$ m²°C/W

Resistência térmica superficial interior - $R_{si}=0,10$ m²°C/W

Coeficiente global de transmissão de calor - $U = 1,209$ W/m²K

3.1.1.2.4. Cobertura ao nível do piso 1 (terraço refeitório):

O refeitório contempla uma cobertura individual ao nível do piso 1. Esta cobertura é plana, constituída por um reboco interior (4), uma laje maciça (3), uma betonilha de assentamento (2) e um revestimento ladrilho em contato com o exterior (1). Conforme representado na figura 10 e propriedades da tabela 5:



Figura 10 – Elementos construtivos da cobertura ao nível do piso 1.

- 1 – Revestimento de piso (ladrilho);
- 2 – Betonilha de assentamento;
- 3 – Estrutura contínua (laje maciça);
- 4 – Reboco 15cm

Tabela 5 – Resistências térmicas cobertura ao nível do piso 1.

Ref.	Estrutura	ρ [kg/m ³]	e [m]	λ [W/m°C]	R [m ² °C/W]
1	Revestimento de piso (ladrilho)	1300	0,04	0,5	0,080
2	Betonilha de assentamento	-	0,4	0,5	0,215
3	Estrutura contínua (laje maciça)	-	-	-	0,160
4	Reboco	1800	0,015	1,3	0,012

Resistência térmica superficial exterior - $R_{se}=0,04$ m²°C/W

Resistência térmica superficial exterior - $R_{si}=0,10$ m²°C/W

Coefficiente global de transmissão de calor - $U = 1,399$ W/m²K

3.1.1.2.5. Envidraçados:

Não havendo dados relativos à construção e tipologia das janelas aplicadas no edifício, para o presente projeto/estudo considerou-se janelas simples de vidro duplo incolor, de forma a promover a inercia térmica.

$$g_i = F_{w,i} \cdot g_{\perp,vi} \quad [17]$$

$F_{w,i}$ → Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados.

$g_{\perp,vi}$ → Fator solar do envidraçado.

Segundo o despacho K, o factor $F_{w,i}$ em aquecimento é dado como 0,9. Na tabela 6 estão os valores do fator solar dos vãos envidraçados.

Tabela 6 – Fator solar dos vãos envidraçados na estação de aquecimento.

Tipologia	Fachada	$F_{w,i}$	$g_{T,vi}$	g_i
Janela Simples / Vidro Duplo	Norte	0,9	0,78	0,702
	Sul	0,9	0,78	0,702
	Este	0,9	0,78	0,702
	Oeste	0,9	0,78	0,702
	Sudoeste	0,9	0,78	0,702
	Sudeste	0,9	0,78	0,702

3.1.1.2.6. Pavimento

Considerou-se, para o pavimento em contacto com o solo, um valor de coeficiente global de transmissão de calor típico de $2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Considerando a área total do pavimento e o perímetro exposto ao exterior.

3.1.1.2.7. Portas

No edifício em questão, surge dois tipos de portas em contacto com o exterior: Porta simples (uma portada) e Porta Dupla (duas portadas).

3.1.1.3. Classificação dos espaços e envolvente.

Conforme requisitos de conceção, segundo a Portaria 349-D/2013, é necessário classificar os espaços na seguinte forma:

Tipo A – Espaços com ocupação permanente e com requisitos térmicos.

Tipo B – Espaços sem ocupação permanente e sem necessidade de requisitos térmicos.

A tabela 7, mostra uma definição mais detalhada de cada tipologia de espaços:

Tabela 7 – Classificação da tipologia de espaços (Tipo A ou Tipo B).

Tipo de espaços	
Tipo A	Tipo B
Espaços que verifiquem uma das seguintes condições: 1. Ocupação permanente, ou seja, superior a 2 h/dia <u>ou</u> 2. Sistema de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico de forma direta, ou indiretamente através de ar transitado de espaços tratados. Exemplo de espaços tratados de forma indireta: espaços rodeados por outros espaços tratados, tais como circulações interiores horizontais e verticais, arrumos, arquivos e dispensas, cozinhas, copas, lavandarias, balneários, instalações sanitárias, corredores de acesso a espaços do tipo A, átrios/entradas de edifícios.	Espaços que verifiquem, cumulativamente, as seguintes condições: 1. Sem ocupação permanente <u>e</u> 2. Sem sistema de aquecimento ou arrefecimento para conforto térmico de forma direta ou indireta Exemplos de espaços Tipo B: Armazéns frigoríficos, arquivos, estacionamento e centros de armazenamento de dados.

Os espaços considerados como Tipo B são denominados de espaços não úteis (ENUs), ou seja, sem necessidade de requisitos térmicos. O que quer dizer que o espaço adjacente (climatizado) irá perder energia, sendo necessário considerar esta transferência de calor pelas paredes interiores, laje, entre outros.

De forma a delinear a envolvente, é necessário utilizar um critério de cores, tal como representado na seguinte figura 11:

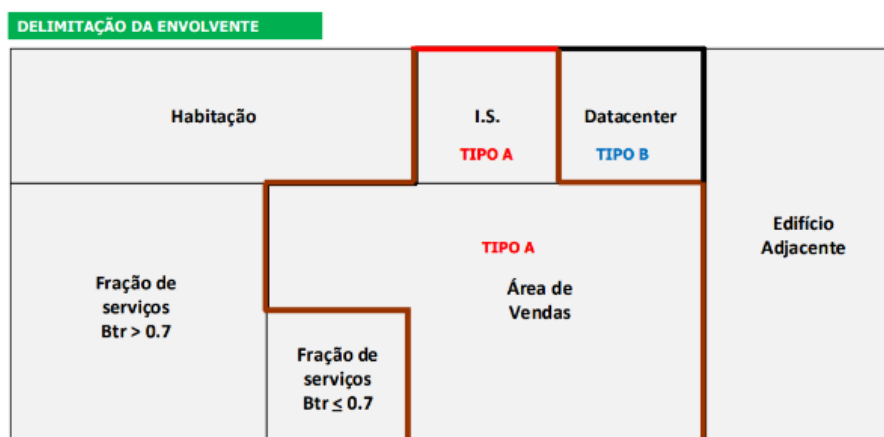


Figura 11 – Metodologia de delinação da envolvente.

No presente projeto, será classificada a envolvente em função das normas acima mencionadas.

De seguida será representado a delinação de cada espaço de Tipo B.

No piso 0 foi definido como espaço tipo B, figura 12 e 13.

- Rouparia;
- Armazém (produtos tóxicos);
- Arrecadação;
- Casa de elevadores;
- Despensa.

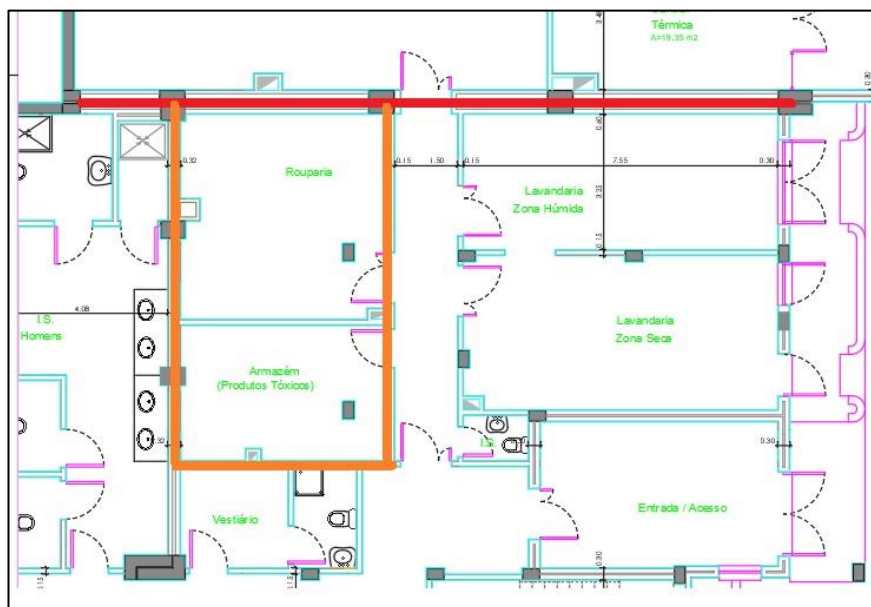


Figura 12 – Delinação da envolvente com espaços do tipo B no Piso 0 (Rouparia e Armazém).

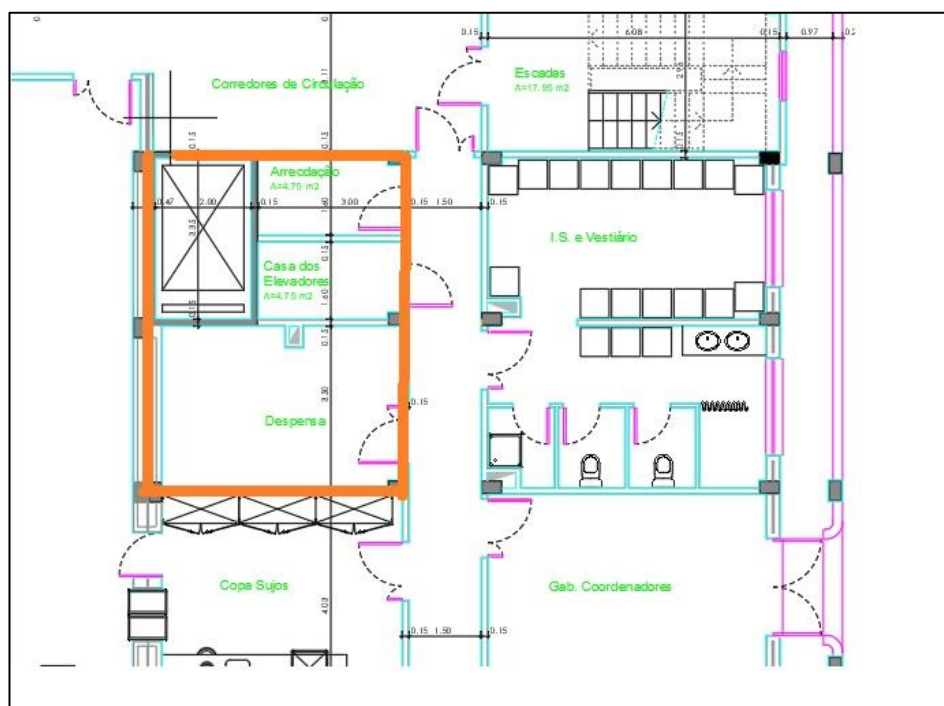


Figura 13 – Delineação da envoltura com espaços tipo B no Piso 0 (Arrecadação, Casa dos elevadores e Despensa).

No piso 1, os espaços do tipo TB são os seguintes, figura 14 a 17.

- Depósito;
- Rouparia;
- Roupa Suja.

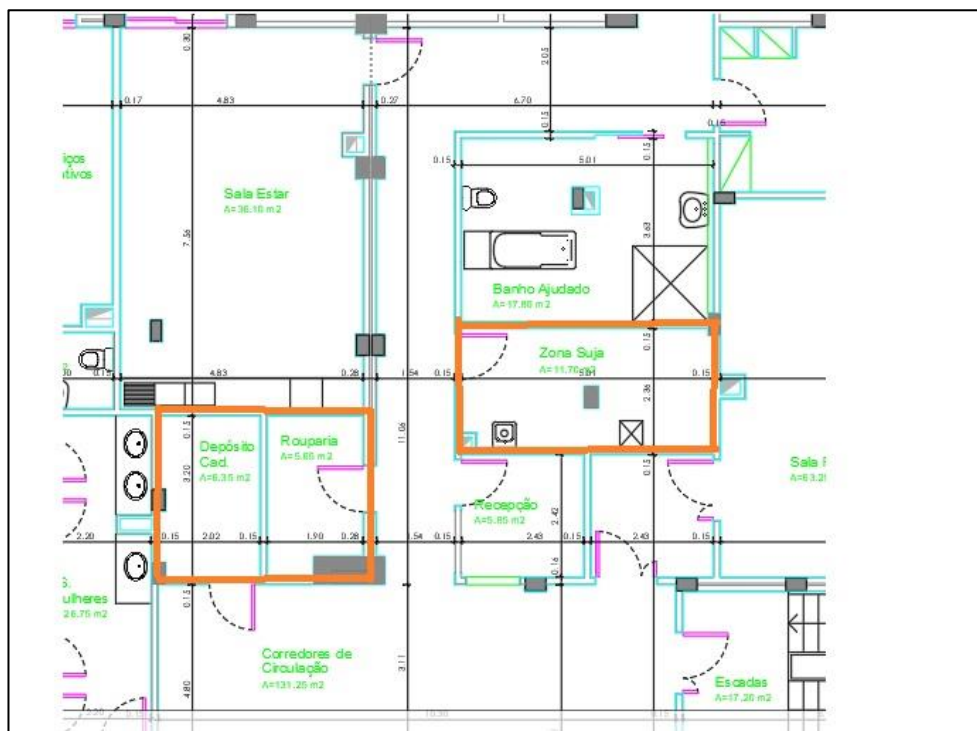


Figura 14 – Delineação da envoltura com espaços tipo B no Piso 1.



Figura 15 – Delineação da envolvente com contato com o exterior pelo pavimento no Piso 1.

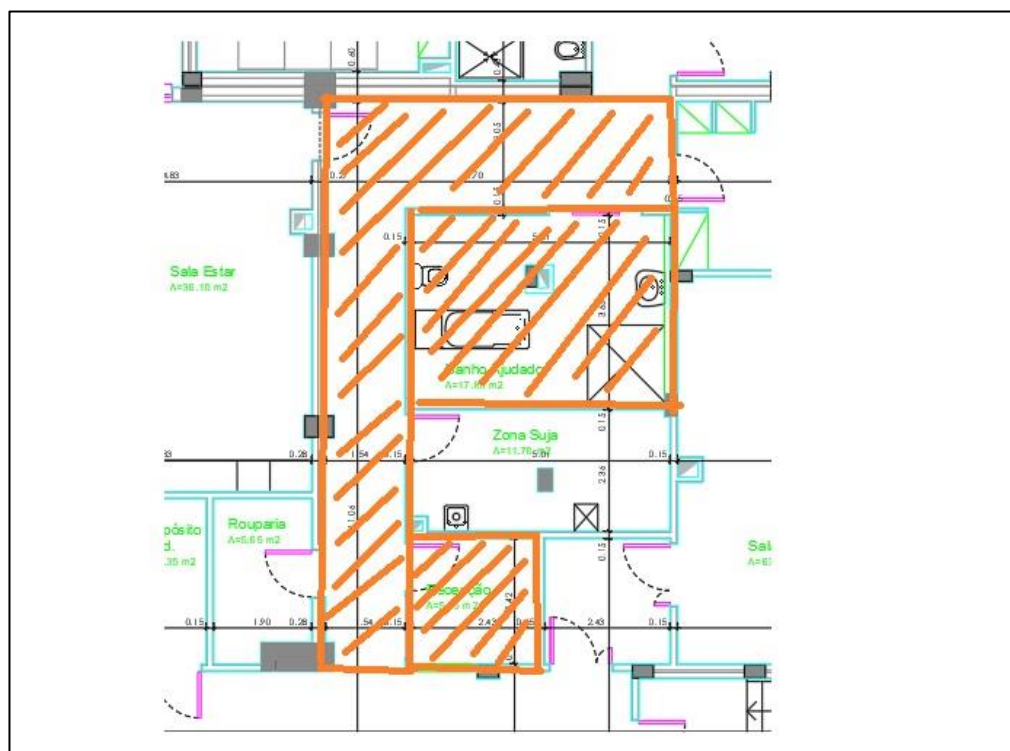


Figura 16 – Delineação da envolvente do Piso 1 em contato com espaços Tipo B pelo pavimento.

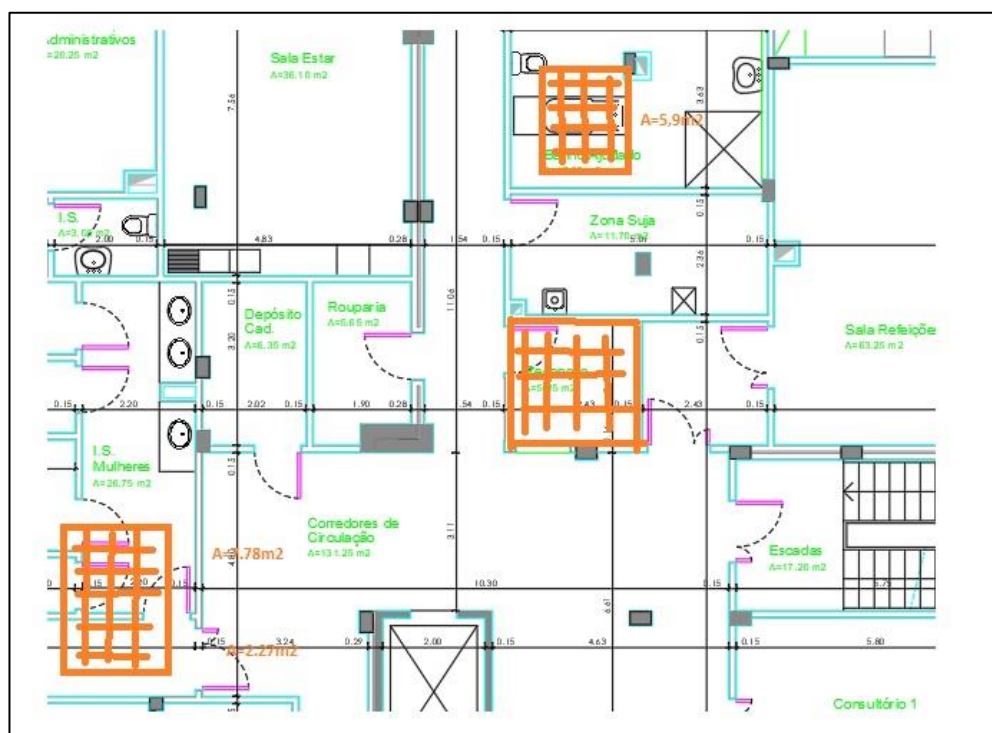


Figura 17 – Delineação da envoltura do Piso 1 em contato com espaços Tipo B pelo teto.

No piso 2, os espaços do tipo TB são os seguintes, figura 18 e 19.

- Rouparia;
- Arrecadações.

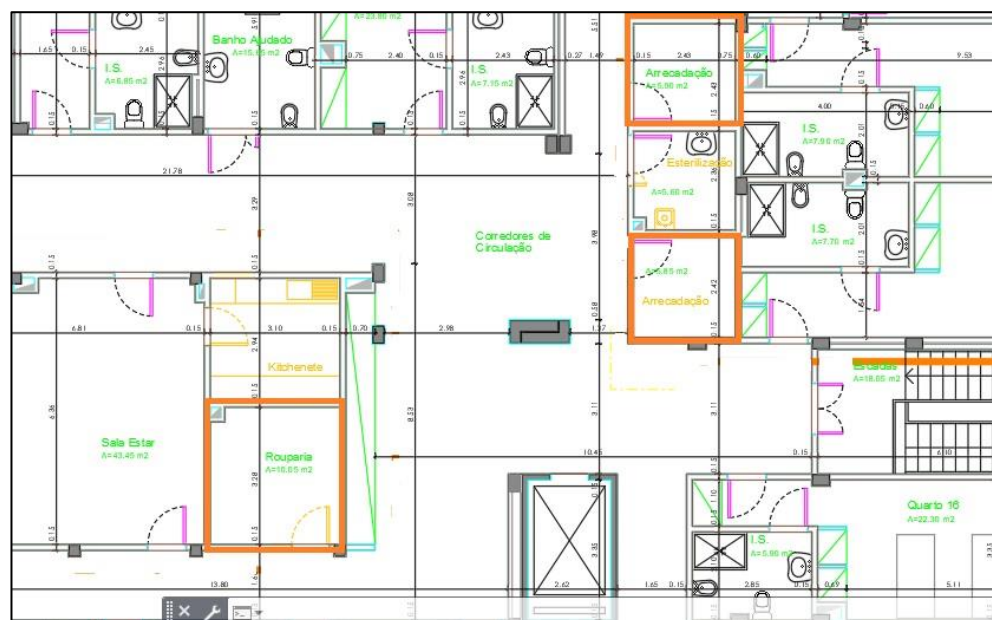


Figura 18 – Delineação da envoltura com espaços tipo B no piso 2.

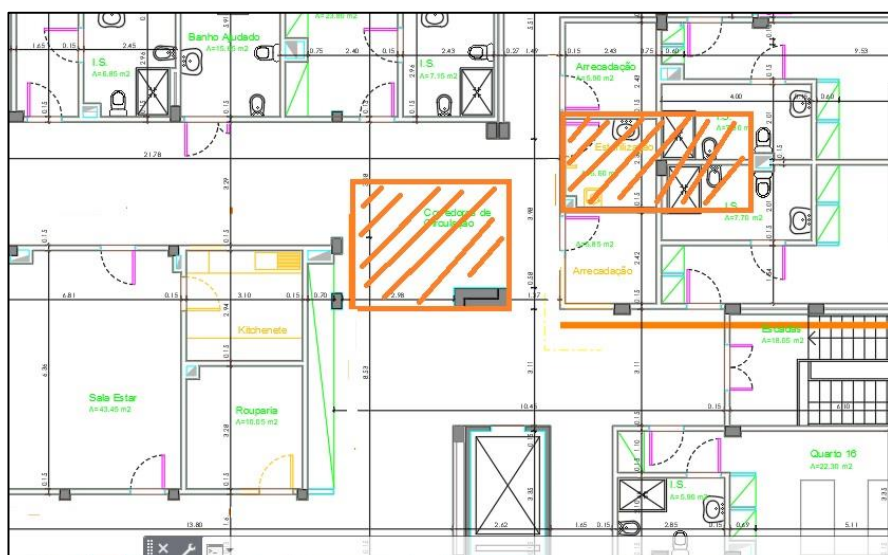


Figura 19 – Delineação da envolvente do piso 2 em contato com espaços tipo B pelo pavimento.

3.1.2. Ganhos internos

Os ganhos internos vêm essencialmente do calor libertado pelas pessoas que ocupam cada espaço, pelos equipamentos e pela iluminação.

Para tal foi estimado cada um destes elementos para cada espaço útil do edifício.

Estes dados podem ser consultados no anexo I.

3.1.3. Infiltração de ar

O edifício em questão não dispõe de ventilação mecânica, nesse sentido teremos de considerar as infiltrações de ar através de ventilação natural.

Para tal, foi necessário o uso da ferramenta de cálculo de ventilação natural disponibilizada pelo LNEC - “VENTILACAO Rph”.

Os valores associados à ventilação natural estão representados na tabela 8:

Tabela 8 – Renovação de ar através da ventilação natural.

Zonas	Áreas (m2)	Áreas Env. (m2)	nº fachas expostas	Infiltrações (1-rph)
Apoio Domiciliário	11,8	4,4	1	0,11
Atendimento	10,1	6	1	0,17
Bar	57,5	5	1	0,03
Cabeleireiro	26,8	6	1	0,07
Contabilidade	22,8	3	1	0,04
Coord.Fisioterapia	6,6	-	-	-
Copa (BAR)	7,5	-	-	-
Corre. DeCirculação	241	5,2	1	0,01
Cozinha_Copas	105	22,45	3	0,42
Electroterapia	54,1	-	1	-
Entrada/Acesso	19,8	3	1	0,05
Escadas	13,5	-	-	-

Escadas1	18	1,14	1	0,02
Gab.Coordenadora	23	-	1	-
Gabinete terapeuta	8,7	-	1	-
Ginásio 1	39,2	4	1	0,03
Ginásio 2	39,8	4	2	0,2
I.S	8,4	-	-	-
I.S e Vestiário	39,5	17,6	1	0,88
I.S. Homens	43,9	-	-	-
I.S. Mulheres	46,3	-	1	-
Lav. Zona Seca	27,9	-	1	-
Lav.Zona Úmida	24,5	-	1	-
Recepção	14,8	1,5	1	0,2
Recursos Humanos	24,5	24	1	1,92
Refeitório	133,2	23	1	0,34
Rouparia	24,5	-	-	-
Terapia Ocupacional	7,7	-	1	-
Vestiário	9	-	-	-
Vestiário_I.S.1	1,7	-	-	-
Vestiário1	10,3	-	-	-
Armazém	138,2	-	2	-
Central. Térmica	19,4	-	-	-
Manutenção	149,6	-	2	-

3.1.4. Cálculo geral da carga térmica

Para o cálculo da carga térmica por zona, foi utilizado o software de simulação dinâmica de edifícios da Carrier/ASHRAE denominado de HAP (Hourly Analysis Program). O software em questão permite, simular energeticamente um edifício, gerando um relatório com as diferentes cargas térmicas por espaço.

Introduzido os dados mencionados acima, de coeficientes globais de transmissão de calor de cada elemento do edifício. O software automaticamente calcula as necessidades térmicas de cada espaço.

No presente projeto, o foco foi essencialmente as cargas térmicas em aquecimento. Estes valores podem ser consultados no anexo II.

A carga térmica total do edifício será utilizada para seleção da fonte de calor a aplicar no projeto de aquecimento central. Essa carga térmica tem o valor de 144kW, no pico de produção do sistema.

3.1.5. Necessidades de Aquecimento

Para o cálculo das necessidades anuais de aquecimento é necessário traçar um perfil de consumo anual.

A norma EN2016-2281 [3], que define a diretiva Ecodesign (diretiva para desenvolvimento e produção sustentáveis), indica-nos perfis de consumo para aquecimento central através dos seguintes pressupostos:

- Clima frio – Helsínquia;
- Clima médio – Estrasburgo;
- Clima quente – Atenas.

Conforme se pode observar na figura 20. Portugal insere-se no perfil de clima quente:

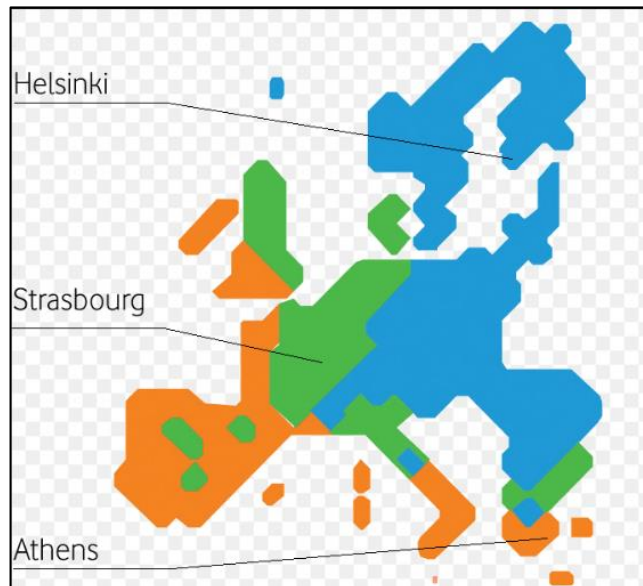


Figura 20 – Zonas climáticas segundo Diretiva Ecodesign.

O perfil dado pela diretiva Ecodesign é composto por uma relação entre o número de horas anuais de ocorrência de determinada temperatura exterior $T(j)$. Conforme representado para os três climas, na figura 21:

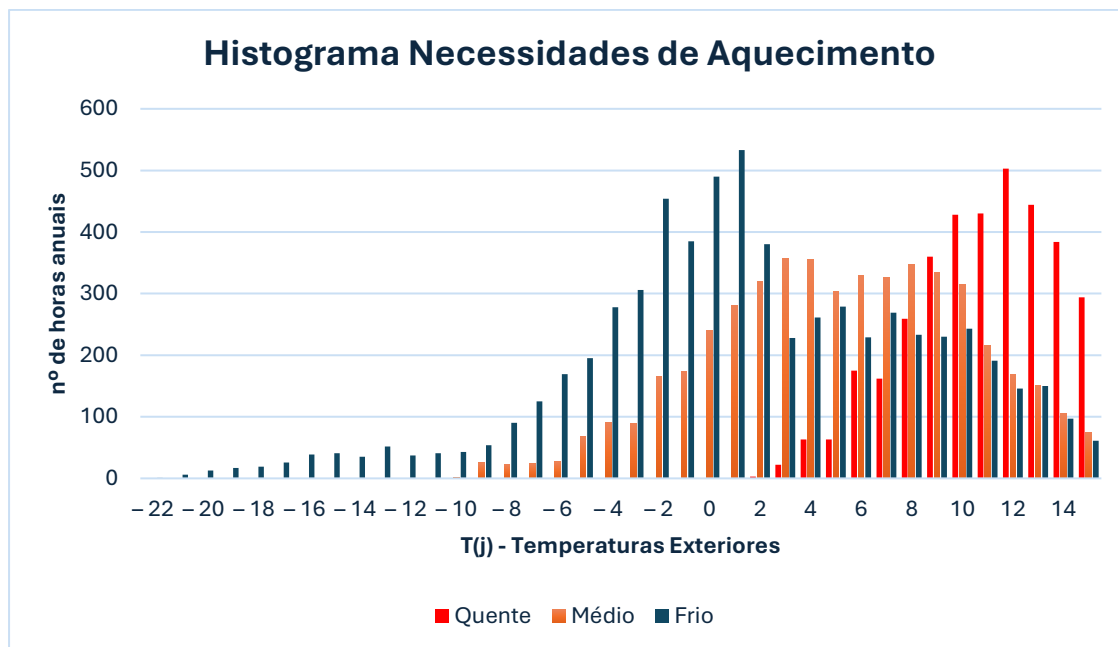


Figura 21 – Histograma das Necessidades de Aquecimento ao longo do ano.

O clima frio terá uma maior incidência de temperatura exterior entre os -14°C e os 2°C , o médio entre os -4°C e os 10°C e o clima quente entre os 2°C e os 14°C .

As cargas térmicas parciais são definidas através de uma linha descendente. Onde a carga máxima será para a temperatura exterior mínima e a carga mínima para a maior

temperatura exterior, durante a estação de aquecimento. Como Portugal está inserido no perfil de clima quente, a figura 22 apresenta o perfil de carga nestas condições:

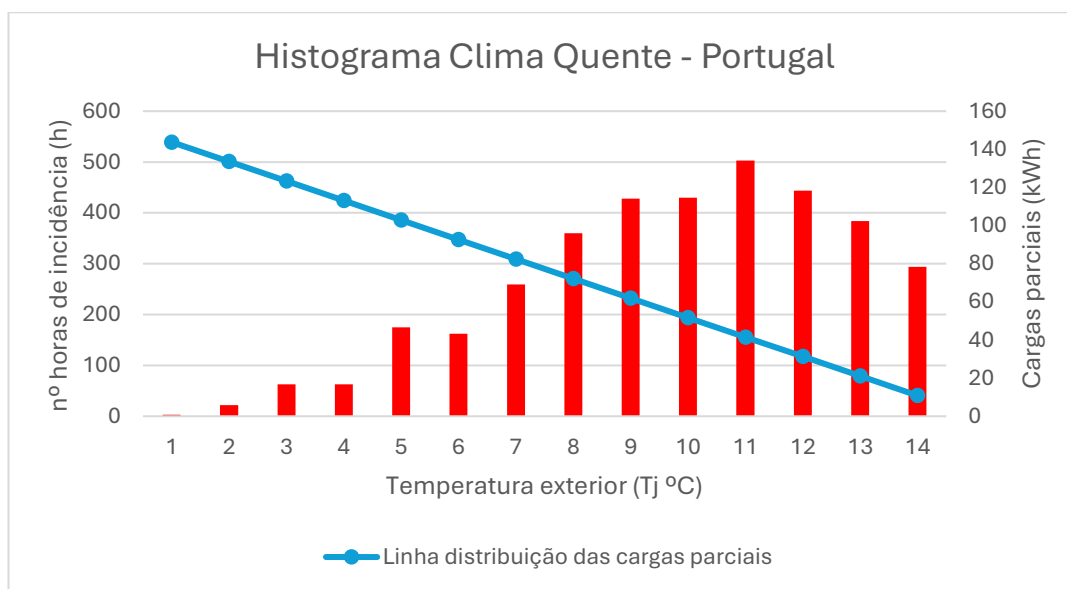


Figura 22 – Perfil de cargas parciais para clima quente – Portugal.

A linha de distribuição de cargas ao longo do ano é definir em função de 3 “pontos”. Estes “pontos” são dados pela norma EN2016-2281 [3] em função da zona climática onde o projeto está inserido. Conforme observado na tabela 9:

Tabela 9 – Resumo de cargas parciais.

Tj (°C)	Pontos de referência	Quente	Cargas parciais
2	B	3	100%
7	C	162	64%
12	D	503	29%

Com esta informação avançou-se para o cálculo das necessidades anuais de aquecimento, através da seguinte expressão:

$$Q_{aq,anual} = \sum_{Tj} Q_{aq,parcial,Tj} \times n^{\circ} \text{horas de ocorrência, } Tj \text{ [kWh/ano]} \quad [18]$$

$Q_{aq,parcial,Tj} \rightarrow$ Necessidades parciais em aquecimento [kW]

n° horas de ocorrência (h)

As necessidades parciais em aquecimento ($Q_{aq,parciais}$) são dadas através da seguinte expressão

$$Q_{aq,parcial} = \%_{parcial,Tj} \times Q_{aq} \text{ [KWh]} \quad [19]$$

$\%_{parcial,Tj} \rightarrow$ Parcialização da carga térmica em função da temperatura exterior (Tj) [%]

$Q_{aq} \rightarrow$ Carga térmica em aquecimento máxima [kW].

Na tabela 10 indicam-se as cargas parciais ao longo de um ano:

Tabela 10 – Cálculo de cargas parciais.

T _j (°C)	Horas de Ocorrência Clima Quente	Cargas parciais	Q _{aq,parcial,Tj} (kW)	Q _{aq,parcial} (kWh)
2,0	3,0	100%	143	431
3,0	22,0	93%	133	2937
4,0	63,0	86%	123	7768
5,0	63,0	79%	113	7124
6,0	175,0	71%	102	18000
7,0	162,0	64%	92	15006
8,0	259,0	57%	82	21344
9,0	360,0	50%	72	25987
10,0	428,0	43%	62	26520
11,0	430,0	36%	51	22247
12,0	503,0	29%	41	20882
13,0	444,0	22%	31	13893
14,0	384,0	15%	21	8089
15,0	294,0	8%	10	3187

As somas de todas as cargas parciais correspondem à necessidade total em aquecimento num período de um ano:

$$Q_{aq,anual}=193422 \text{ kWh/ano}$$

3.2. Produção de AQS

Com recurso à filosofia por detrás do método da distribuição do Consumo vs Produção em água quente sanitária, no presente projeto desenvolveu-se uma sequência de cálculos para monitorização da temperatura do depósito ao longo de 24 horas, quando este está sobre uma potência térmica aplicada por uma fonte de calor. O objetivo é utilizar o volume dado pela legislação em vigor e através do desenvolvimento da temperatura do depósito ao longo do dia, definir qual a potência térmica da fonte de calor.

3.2.1. Necessidades diárias de água quente sanitária em Lares de Idosos

Segundo a Norma EN12831-3:2019 [15] que define métodos de cálculo para eficiência energética em edifícios. Na “Parte 3” do documento em questão, obtém-se alguns perfis tipo de consumo de AQS para diferentes tipologias de edifícios.

Neste sentido, obteve-se o seguinte perfil de consumo de AQS para edifícios de tipologia Lar de Idosos. Em conformidade com o representado na figura 23 e tabela 11:

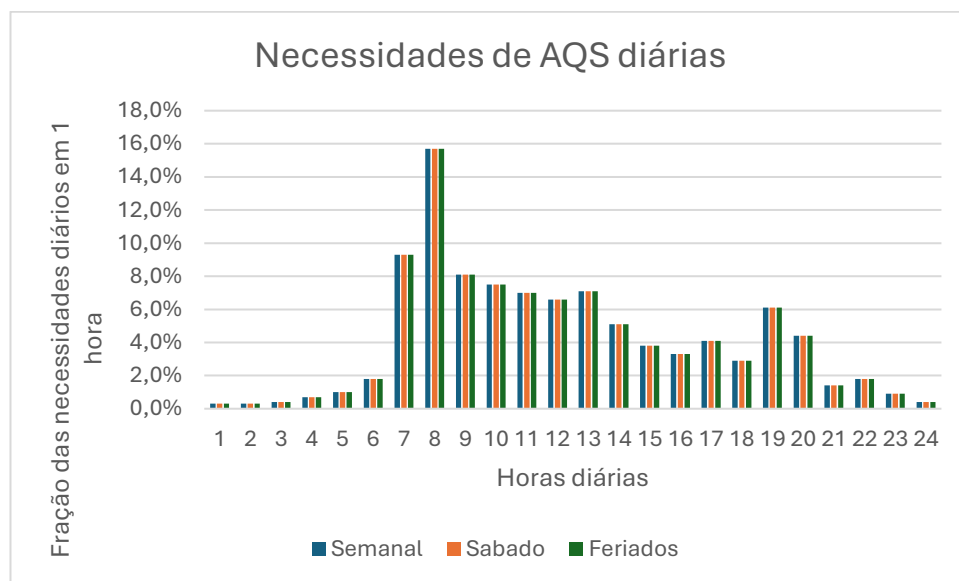


Figura 23 – Necessidades de AQS diárias.

Tabela 11 – Frações das necessidades de AQS num espaço de 1 hora.

Perfil horário de consumo de AQS			
Horas	Semanal	Sábado	Feriados
1	0,3%	0,3%	0,3%
2	0,3%	0,3%	0,3%
3	0,4%	0,4%	0,4%
4	0,7%	0,7%	0,7%
5	1,0%	1,0%	1,0%
6	1,8%	1,8%	1,8%
7	9,3%	9,3%	9,3%
8	15,7%	15,7%	15,7%
9	8,1%	8,1%	8,1%
10	7,5%	7,5%	7,5%
11	7,0%	7,0%	7,0%
12	6,6%	6,6%	6,6%
13	7,1%	7,1%	7,1%
14	5,1%	5,1%	5,1%
15	3,8%	3,8%	3,8%
16	3,3%	3,3%	3,3%
17	4,1%	4,1%	4,1%
18	2,9%	2,9%	2,9%
19	6,1%	6,1%	6,1%
20	4,4%	4,4%	4,4%
21	1,4%	1,4%	1,4%
22	1,8%	1,8%	1,8%
23	0,9%	0,9%	0,9%
24	0,4%	0,4%	0,4%

Conforme observado, o consumo em AQS num Lar de Idoso, é aplicado ao longo de 24 horas. Havendo alguns períodos onde o consumo é muito baixo (principalmente da 00H00 às 6H00).

Pretende-se então, desenvolver um método de cálculo para avaliar o desenvolvimento da temperatura da água no interior do depósito ao longo de um dia, aplicando uma determinada potência térmica. O objetivo é chegar-se ao volume mínimo de acumulação para que não haja falta de água quente durante os picos de consumo de AQS.

Assumindo-se os seguintes pressupostos:

Temperatura de acumulação → 60°C (mínima para garantir e inativação da bactéria *legionella*).

Temperatura média de consumo → 40°C

Temperatura média da rede de abastecimento → 15°C

Através das plantas do edifício, observou-se que existem 73 camas individuais, neste sentido é possível o lar alojar, no máximo, 73 utentes. Segundo indicado pela administração do lar, ao almoço, para além dos utentes, também inclui 9 funcionários, e ao jantar 2 funcionários.

Ao aplicar os valores de consumo diário de acumulação de água quente, a uma temperatura de 60°C conforme norma EN 12831-3, dados pela Portaria nº138-I/2021 [11], representados na tabela 12:

Tabela 12 – Consumo diário de AQS para edifícios de comércio e serviços, conforme norma EN 12831-3.

Tipo de utilização	Consumo de AQS (l)	Variável
Cuidados de saúde sem dormida	10	Litros/cama
Cuidados de saúde com dormida e sem lavandaria	56	
Cuidados de saúde com dormida e com lavandaria	88	
Escolas	(¹)	
Escritórios		
Teatros e anfiteatros		
Lojas		
Serviço de refeições tradicional, 2 refeições por dia	21	Litros/(pessoa.refeição)
Serviço de refeições self-service, 2 refeições por dia	8	
Serviço de refeições tradicional, 1 refeição por dia	10	Litros/cama
Serviço de refeições self-service, 1 refeição por dia	4	
Hotéis 1 estrela, sem lavandaria	56	
Hotéis 1 estrela, com lavandaria	70	
Hotéis 2 estrelas, sem lavandaria	76	
Hotéis 2 estrelas, com lavandaria	90	
Hotéis 3 estrelas, sem lavandaria	97	
Hotéis 3 estrelas, com lavandaria	111	
Hotéis 4 estrelas ou superior, sem lavandaria	118	
Hotéis 4 estrelas ou superior, com lavandaria	132	
Outros edifícios com dormida	28	Litros/chuveiro
Recintos desportivos	101	

(¹) Sem consumo de AQS, podendo ser usados valores de outras tipologias de utilização caso estejam previstas.

Cuidados de saúde com dormida e sem lavandaria – 56 litros/cama;

Serviços de refeições tradicional, 1 refeição por dia – 10 litros/cama.

É feito o cálculo do volume total de água quente, consumido durante um dia, representado na tabela 13.

Tabela 13 – Consumo diário em AQS, segundo norma EN 12831-3.

Acumulação de AQS				
Banhos	Utentes	73	56	l/cama@60°C
Almoços	Utentes	73	10	l/cama@60°C
	Funcionários	9		
Jantares	Utentes	73	10	l/cama@60°C
	Funcionários	2		
Consumo TTL AQS@60°C			5658	l@60°C

3.2.2. Análise do comportamento térmico do depósito, segundo método da Análise da distribuição do Consumo vs Produção.

No projeto em específico, consome-se água quente em dois sectores: banhos e refeições.

Na tabela 14, é feita uma análise dos consumos de água quente sanitária em função dos caudais de água de cada terminal e o tempo de utilização.

Segundo a administração do lar, o tempo de duche por utente pode ir até 30 minutos, caso seja assistido. Assumiu-se 3 minutos de lavagem de loiça por cada utilizados.

Tabela 14 – Consumo de água quente sanitária.

Consumo de AQS				
Caudal instantâneo chuveiro (duches)		9	l/min@40°C	
Caudal instantâneo máquina de lavar loiça (refeições)		9	l/min@40°C	
Tempo de duchas / utente		30	min	
Tempo de lavagem de loiça / utente		3	min	
Banhos	Utentes	73	19710	l@40°C
Almoços	Utentes	73	1971	l@40°C
	Funcionários	9	243	l@40°C
Jantares	Utentes	73	1971	l@40°C
	Funcionários	2	54	l@40°C
Consumo TTL de AQS duchas diários			19710	l@40°C
Consumo TTL de AQS refeições diárias			4239	l@40°C
Consumo TTL de AQS diário			23949	l@40°C

O tempo de banho foi indicado pela equipa de enfermagem do próprio lar, sendo que o tempo de lavagem de loiça (refeições) foi estimado. Observa-se que o consumo diário de água quente ronda os 24000l. Estimou-se uma temperatura média de consumo de 40°C, seja em banhos ou lavagem de roupa.

Com isto, obteve-se o seguinte consumo em água quente sanitária ao longo de um dia de utilização, conforme tabela 15:

Tabela 15 – Consumo de água quente sanitária ao longo de um dia de utilização em AQS.

Hora	Perfil diário AQS (%) - EN12835-3	ConsumoAQS@40°C (l/h)
1,00	0,30%	72
2,00	0,30%	72
3,00	0,40%	96
4,00	0,70%	168
5,00	1,00%	239
6,00	1,80%	431
7,00	9,30%	2227
8,00	15,70%	3760
9,00	8,10%	1940
10,00	7,50%	1796
11,00	7,00%	1676
12,00	6,60%	1581
13,00	7,10%	1700
14,00	5,10%	1221
15,00	3,80%	910
16,00	3,30%	790
17,00	4,10%	982
18,00	2,90%	695
19,00	6,10%	1461
20,00	4,40%	1054
21,00	1,40%	335
22,00	1,80%	431
23,00	0,90%	216
24,00	0,40%	96

Conclui-se então, que o pico de consumo de AQS ocorre às 8h00 com um valor de 3760 l/h a 40°C.

Com os valores definidos de consumo de AQS, obteve-se a energia térmica consumida (equação 13) ao longo de um dia. Conforme apresentado na tabela 16:

Tabela 16 – Energia térmica consumida ao longo de um dia de utilização em AQS.

Hora	Energia consumida em AQS (kWh)
1,00	2,1
2,00	2,1
3,00	2,8
4,00	4,9
5,00	7,0
6,00	12,5
7,00	64,7
8,00	109,3
9,00	56,4
10,00	52,2
11,00	48,7
12,00	45,9
13,00	49,4
14,00	35,5
15,00	26,5
16,00	23,0
17,00	28,5
18,00	20,2
19,00	42,5
20,00	30,6
21,00	9,7
22,00	12,5
23,00	6,3
24,00	2,8

Desta forma, estão reunidas as condições para analisar a evolução da temperatura do depósito ao longo de 24 horas, em função de uma determinada potência térmica aplicada por uma fonte de calor. Para tal foi considerado as seguintes condições:

- a) A temperatura da água do depósito não pode estar abaixo da temperatura de consumo, de forma a garantir sempre água quente disponível;
- b) A análise é feita através de um perfil diário, ou seja, um ciclo. O que quer dizer que no final do dia (às 23h59) a temperatura de água no depósito deve ser igual ou superior à temperatura no início do dia (00h00).

De forma a testar diferentes cenários, assumiu-se 3 situações:

- 1) Volume de acumulação calculado em conformidade com a norma EN12831-3 e capacidade térmica necessária para garantir as condições acima mencionadas (solução ideal);
- 2) Manter o volume de acumulação calculado em conformidade com a norma EN12831-3 e baixar a capacidade térmica;
- 3) Baixar o volume de acumulação, mantendo a capacidade térmica calculada no ponto 1).

Situação 1 – Solução ideal:

Utilizando 5700l (conforme EN 12831-3) de acumulação, a uma temperatura típica para água quente sanitária de 60°C. E considerando um conjunto de testes com potências térmicas diferentes. Conclui-se que são necessários 42 kWt para garantir as necessidades do edifício em AQS. Conforme se pode observar na figura 24:

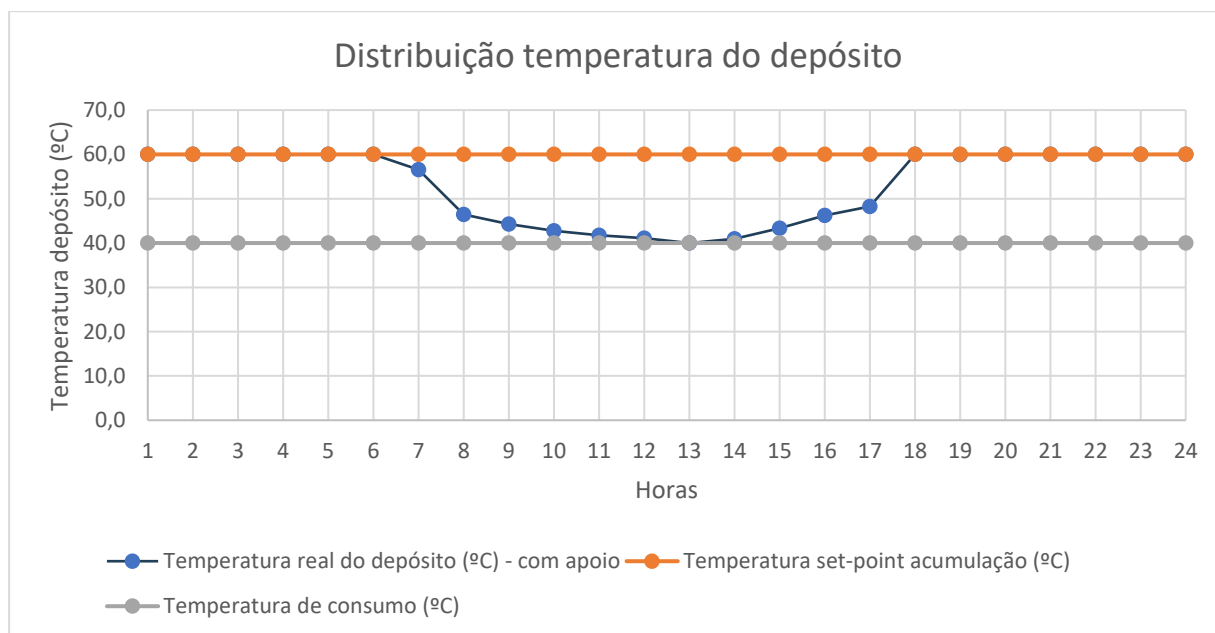


Figura 24 – Gráfico do desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS com 5700l e potência térmica mínima a aplicada (42 kWt) para garantir o consumo de AQS diário.

Situação 2 – Manter volume de acumulação e baixar a potência térmico

Se, por exemplo, for considerado uma potência de 40kWt, mantendo o volume de acumulação, observa-se que durante o período entre as 12h00 e 14h00, a temperatura da água no depósito encontra-se ligeiramente abaixo dos 40°C (temperatura de consumo). Logo, nestas condições, durante este período, teoricamente poderá não existir água quente sanitária suficiente para as necessidades, conforme figura 25.

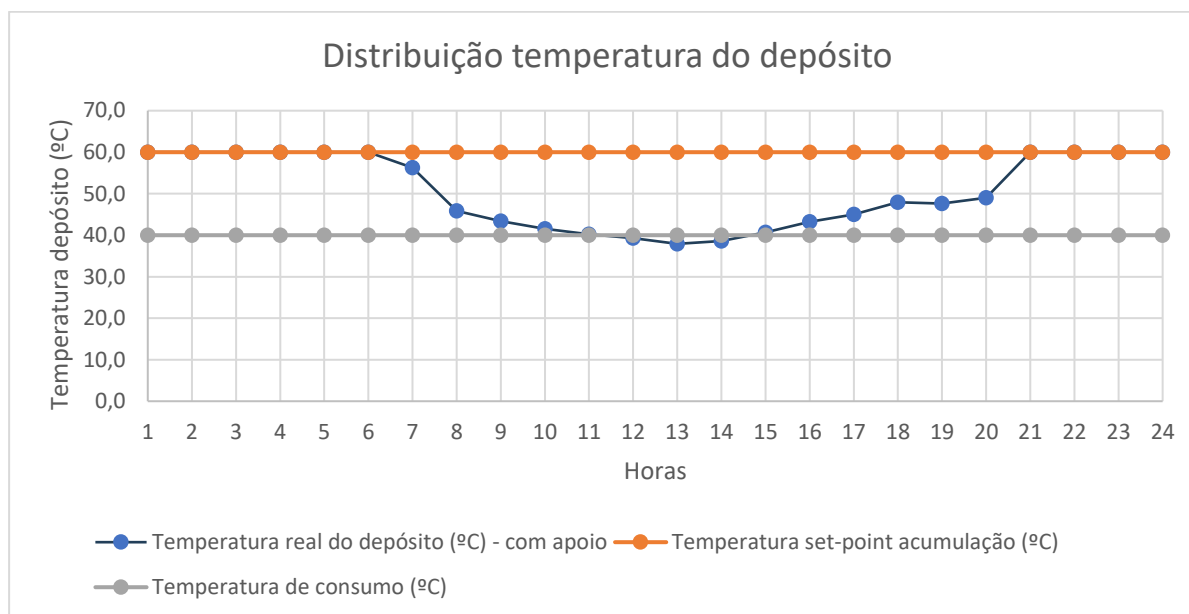


Figura 25 – Gráfico de desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS com 5700l e uma potência térmica abaixo da mínima (40kWt).

Situação 3 – Baixar o volume de acumulação mantendo a potência térmica da solução 1.

Um outro caso a testar é, mantendo a potência térmica e baixando o volume acumulado. Se for considerado, por exemplo, a capacidade inicial de 42kWt térmicos, e baixarmos o volume de acumulação para 5000l, observamos também que entre as 11h00 e 15h00, a temperatura da água do depósito encontra-se, ligeiramente, abaixo dos 40°C de consumo. Gerando a mesma situação no caso 2, onde teoricamente poderá não existir água quente sanitária suficiente, durante este período, conforme figura 26.

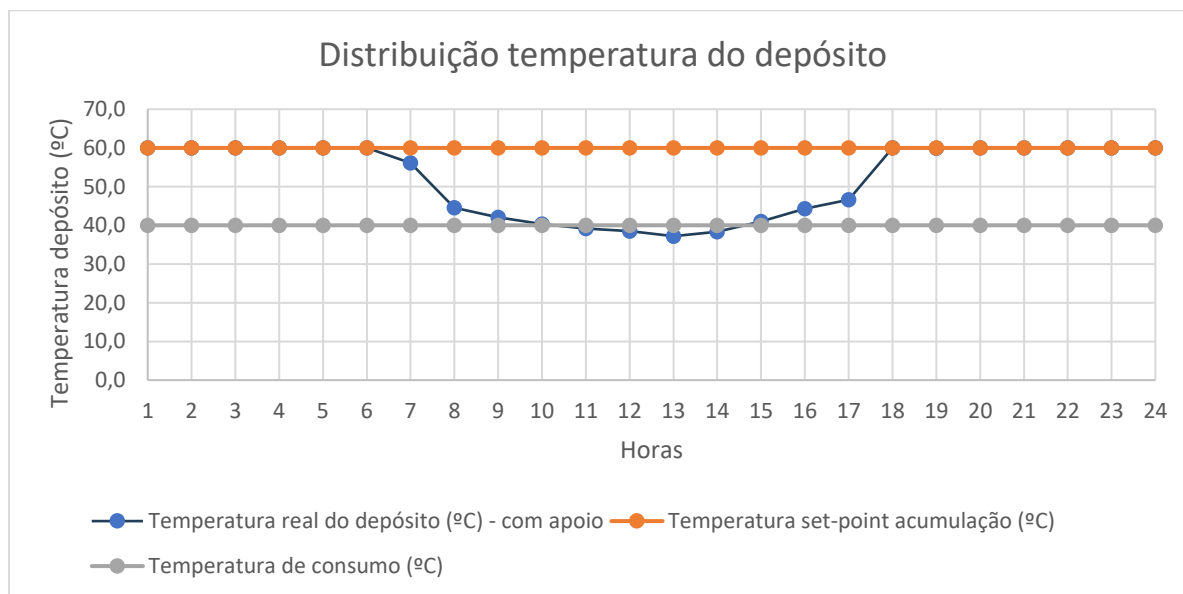


Figura 26 – Gráfico de desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS, mantendo a potência térmica mínima de 42 kWt e um volume abaixo do definido segundo a legislação em vigor (5000lts).

Observações:

Com isto, observou-se que a solução ideal passará por uma fonte de calor com uma potência térmica mínima de 42kWt e uma acumulação de água a 60°C num volume de acumulação de 5700l. Desta forma é garantido o volume de água quente legal, segundo Decreto-lei nº101-D/2020, Portaria nº138-I/2021.

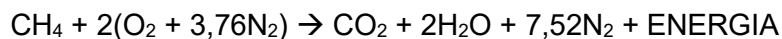
No anexo III encontra-se a folha de cálculo utilizada para chegar-se a estes resultados.

4. Solução técnica

4.1. Fonte de Calor

4.1.1. Caldeira gás natural com condensação

Uma caldeira a gás natural permite transferir energia para água através da combustão de gás natural (CH_4). Abaixo está representada a equação estequiométrica do processo de combustão:



O processo de transferência de energia é feito através de um permutador que recebe energia do queimador da caldeira.

Este tipo de caldeira com condensação, permite aproveitar grande parte da energia armazenada no vapor de água proveniente dos gases de exaustão. Essa água condensa, libertando energia que é transferida para a água de consumo através de um economizador. Esta tecnologia torna estas caldeiras mais eficientes comparativamente com as convencionais. A figura 27 ilustra uma estrutura construtiva deste tipo de fonte de calor:

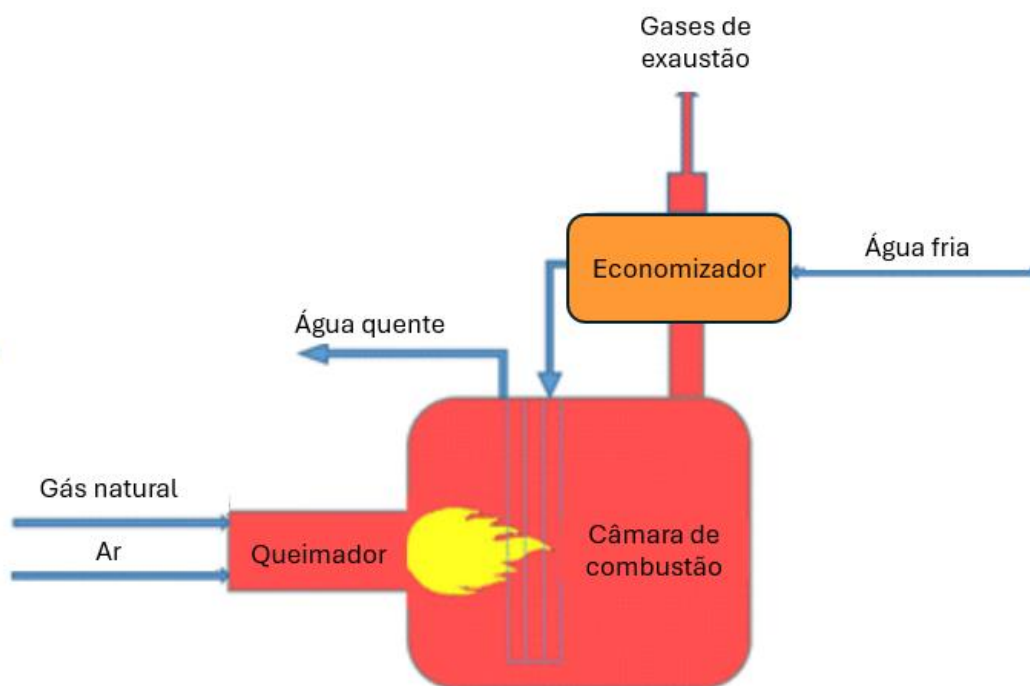


Figura 27 – Estrutura simples de uma caldeira a gás natural com condensação.

4.1.2. Caldeira a pellets

Os pellets é um combustível proveniente da madeira e classificado como Biomassa, sendo uma fonte renovável. É um combustível sólido granulado, prensado a partir de resíduos da madeira, ilustrado na figura 28.



Figura 28 - Pellets

As caldeiras de pellets, permitem queimar estes componentes e transferir essa energia para a água.

Sendo este combustível sólido, as caldeiras devem estar munidas de um silo para armazenamento e alimentação dos mesmos. Na figura 29 observa-se a estrutura construtiva de uma caldeira a pellets.

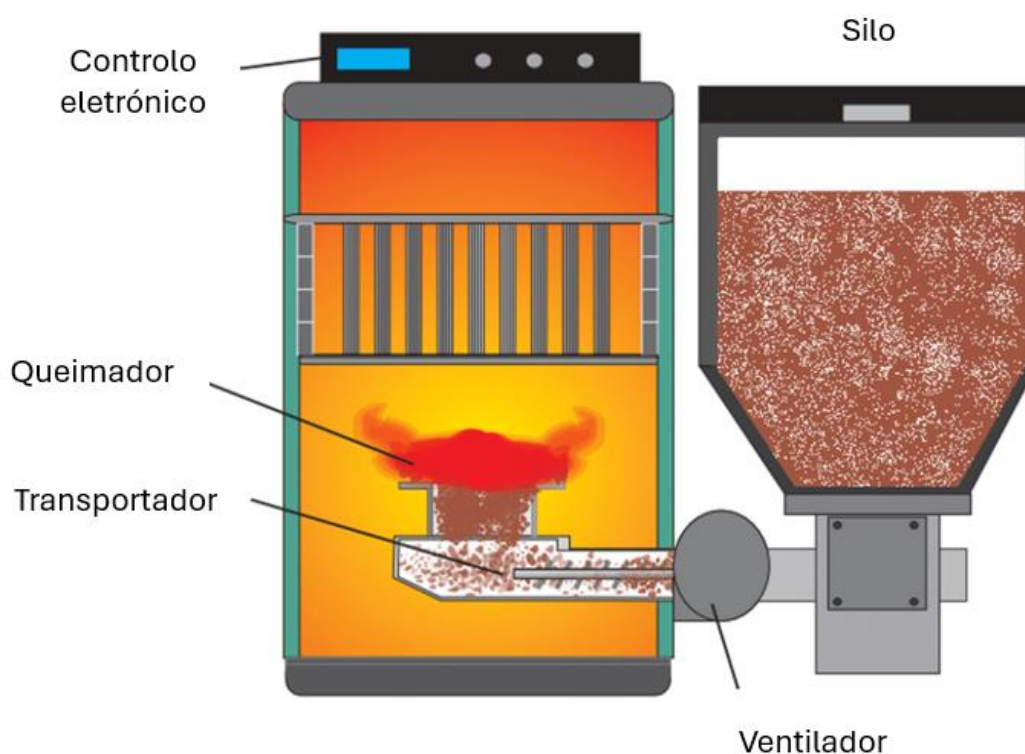


Figura 29 – Estrutura caldeira a pellets

4.1.3. Bombas de calor ar-água

Um sistema bomba de calor funciona com o mesmo princípio de um sistema frigorífico, mas o aproveitamento energético é feito na fonte quente, i.e., é aproveitado o calor rejeitado pelo condensador. O sistema inclui um evaporador que pode ser do tipo seco ou inundado; um condensador arrefecido a água; um compressor que pode ser de tipologia rotativo (scroll ou swing), alternativo ou parafuso; e uma válvula expansora eletrônica típica num circuito frigorífico para climatização. Este sistema está representado na figura 30:

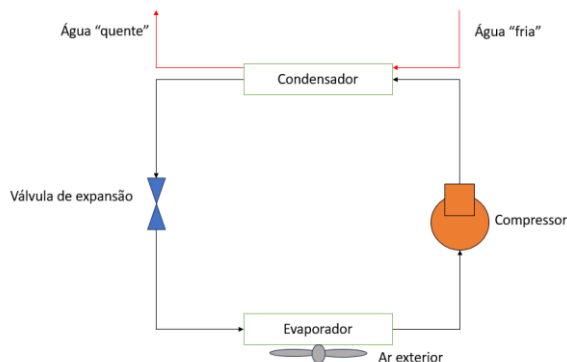


Figura 30 – Circuito frigorífico de uma bomba de calor.

O compressor representa o “coração” do sistema, sendo o equipamento que, ao comprimir o fluido refrigerante, aumenta-lhe a pressão e atinge a temperatura de condensação necessária para a transferência de calor com a água. No exterior, quanto menor a temperatura do ar, menor terá de ser a pressão de evaporação para que o fluido atinja temperaturas mais baixas e com isto receber energia do ar.

A figura 31, representa um diagrama de fases ideal de um circuito frigorífico.

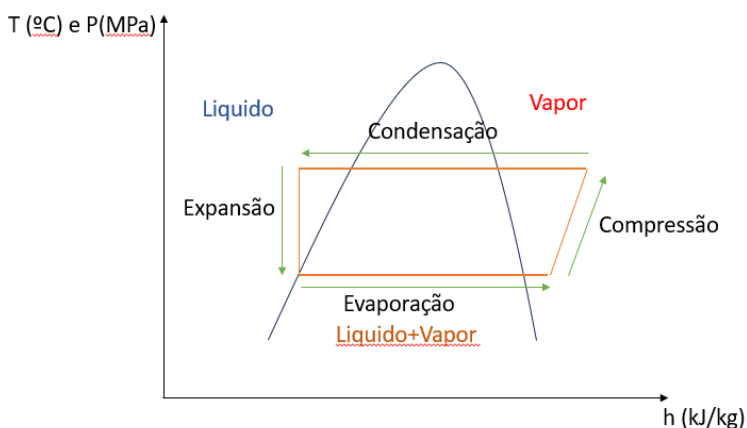


Figura 31 – Diagrama de fases de um circuito frigorífico de uma bomba de calor.

O fluido utilizado nestes circuitos são denominados de gases fluorados. Estes fluidos térmicos têm a capacidade de absorver grandes quantidades de energia.

A vantagem das bombas de calor é a sua eficiência. Estas permitem aproveitar o calor proveniente do ar exterior (fonte renovável), chamando-se esta fenómeno de aerotermia. A energia elétrica consumida pelo compressor tem um peso menor, na energia fornecida à água quente, do que a energia recolhida do ar exterior (de forma gratuita). Conforme observado no exemplo da figura 32:

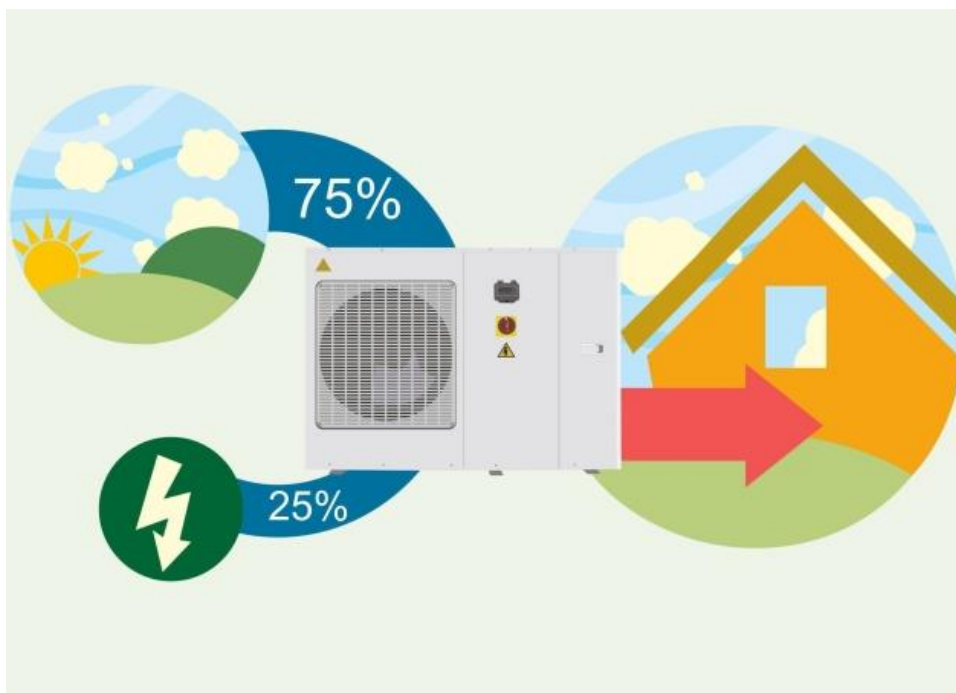


Figura 32 – Aerotermia.

A eficiência de uma bomba de calor, em determinadas condições, é dada pelo fator entre a potência térmica produzida e a energia elétrica consumida. Esta eficiência no formato de aquecimento é denominada de COP (Coefficient of Performance).

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}} \quad [20]$$

$\dot{Q}$ – Potência térmica debitada pela bomba de calor [kW]

$\dot{W}$ – Potência elétrica consumida pela bomba de calor [kW]

A análise de um consumo de uma bomba de calor é por norma feita através da sua eficiência sazonal, ou seja, ao longo de um ano. Esta eficiência sazonal é denominada de SCOP (Seasonal Coefficient of Performance).

$$\text{SCOP} = \frac{Q_s}{W_s} \quad [21]$$

Q_s – Energia térmica debitada pela bomba de calor ao longo de um ano [kWh]

W_s – Energia elétrica consumida pela bomba de calor [kWh]

4.2. Solução técnica para Aquecimento Central

4.2.1. Análise de consumos de energia, emissões de CO₂ e custo de operação em Aquecimento Central

Para efeito de análise de consumos de energia, foram comparadas 3 soluções típicas de aquecimento central:

- Bomba de calor ar-água;
- Caldeira gás natural com condensação;
- Caldeira a pellets.

Foi feita uma pesquisa de mercado, utilizando alguns dados de fabricantes. Comparando-os entre si através das suas eficiências e rendimentos.

O consumo anual de energia (eletricidade, gás natural ou pellets) é dado através da razão entre as necessidades anuais e a eficiência sazonal (SCOP), no caso das bombas de calor, ou o rendimento anual (η), no caso das caldeiras, conforme seguinte expressão:

$$\text{Cons, anual} = \frac{Q_{\text{aq,anual}}}{\text{SCOP ou } \eta} \text{ [KWh, m}^3\text{, kg, outros ...]} \quad [22]$$

A tabela 17 representa as 3 soluções:

Tabela 17 – Comparação dos consumos de energia e emissões de CO₂, em aquecimento central.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	SCOP (Clima médio / Baixa temperatura - EN14825)	Rendimento (%) (PCI=10,75 kWh/m ³)	Consumo de energia (kWh/ano) Aquecimento	Emissão de kgeCO ₂ Aquec.
Bomba de calor ar-água	CARRIER	61AF-055	51,5	3,66	-	52848	24838
	DAIKIN	EWYQ-F-XL 160	160	2,78	-	69576	32700
Caldeiras gás natural c/ condensação	BAXIROCA	BIOS PLUS 150 F	28,1-150,9	-	105,5%	183338	42241
	BOSCH	Condens 7000 F 150	144	-	109,4%	176803	40735
	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	-	109,7%	176319	40624
Caldeira a Pellets	Windhager	BWE 632T	18,2-63	-	93,6%	206647	-
	Solius	100	100	-	92,0%	210241	-
	Froling	PT4e 140	140	-	78,0%	247977	-

Nota: Emissão de CO₂ com base no decreto-lei nº 71/2008 SGCIE [12], despacho nº17313/2008 [13].

Conforme observado, as bombas de calor ar-água, de uma forma geral, têm melhor eficiência, o que indica que consumiram menos energia ao longo do ano comparativamente com as restantes soluções. Esta tendência reflete-se também nas emissões de CO₂, comparando com as caldeiras a gás natural.

Relativamente ao custo de operação, observou-se que a bomba de calor ar-água garante uma fatura energética menor do que soluções a combustíveis fósseis, conforme observado na tabela 18.

Para o custo do gás natural e pellet, considerou-se um custo médio de 0,0905€/kWh [14] e 0,113 €/KWh (custo médio 8,45 €/15kg [15]), respetivamente. O custo médio de eletricidade considerado foi de 0,23 €/kWh.

Tabela 18 – Comparação do custo de operação das soluções para aquecimento central.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	SCOP (Clima médio / Baixa temperatura - EN14825)	Rendimento (%)	Custo de operação Aquec. (€/ano)
Bomba de calor ar-água	CARRIER	61AF-055	51,5	3,66	-	10570
	DAIKIN	EWYQ-F-XL 160	160	2,78	-	13915
Caldeiras gás natural c/ condensação	BAXIROCA	BIOS PLUS 150 F	28,1-150,9	-	105,5%	16592
	BOSCH	Condens 7000 F 150	144	-	109,4%	16001
	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	-	109,7%	15957
Caldeira a Pellets	Windhager	BWE 632T	18,2-63	-	93,6%	23351
	Solius	100	100	-	92,0%	23757
	Froling	PT4e 140	140	-	78,0%	28021

4.2.2. Seleção fonte de calor para aquecimento central.

Conforme observado no capítulo 4.2.1, a bomba de calor ar-água será a fonte de calor com maior economia energética. No entanto, uma solução a pellets é considerada como uma solução onde não existe emissões de CO₂. Visto o custo de operação e investimento numa solução a pellets ser bastante elevado, optou-se, para o presente projeto, pelo uso de uma solução bomba de calor ar-água.

A bomba de calor selecionada foi a unidade 61AF-055 da Carrier, com características representadas na tabela 19. Pois comparando com as outras soluções de bombas de calor, esta fornece uma maior eficiência energética.

Caraterísticas principais:

- Capacidade nominal em aquecimento (A7/W35-30) = 51,6 kW
- COP nominal (A7/W35-30) = 4,36
- SCOP (A7/W35-30 – clima quente) = 3,66

Tabela 19 – Caraterísticas técnicas bomba de calor Carrier 61AF-055, solução aquecimento central.

61AF		030	035	045	055	075	105		
Heating									
Standard unit Full load performances*	HA1	Nominal capacity	kW	25.9	32.3	43.5	51.6	64.8	102
		COP	kW/kW	3.99	3.99	4.32	4.36	3.99	4.26
	HA2	Nominal capacity	kW	25.4	32.0	43.0	51.7	66.8	102
		COP	kW/kW	3.34	3.32	3.60	3.67	3.43	3.59
	HA3	Nominal capacity	kW	25.00	31.50	42.70	52.30	68.00	102.00
		COP	kW/kW	2.90	2.88	3.14	3.19	3.01	3.13
	HA4	Nominal capacity	kW	24.50	31.30	42.70	53.30	68.00	103.00
		COP	kW/kW	2.43	2.42	2.64	2.68	2.54	2.64
Standard unit Seasonal energy efficiency**	HA1	SCOP _{A7/W35°C}	kWh/kWh	3.33	3.44	3.58	3.66	3.57	3.62
		η _h heat _{A7/W35°C}	%	130	135	140	143	140	142
	HA2	SCOP _{A7/W35°C}	kWh/kWh	2.93	2.94	3.10	3.15	3.00	3.16
		η _h heat _{A7/W35°C}	%	114	115	121	123	117	123
	HA3	P _{max}	kW	19.00	31.00	43.00	55.00	63.00	94.00
		Energy labelling		A+	A+	A+	A+	A+	-
	Operating weight ⁽¹⁾								
	Standard unit (without hydraulic module)		kg	409	426	540	564	904	1024
Standard unit (with hydraulic module option)		kg	418	435	555	579	919	1039	
Sound levels									
Sound power level ⁽²⁾		dB(A)	78	83	82	84	84	85	
Sound pressure level at 10 m ⁽³⁾		dB(A)	46	51	51	53	52	53	
Dimensions									
Length		mm	1110		1114		2273		
Depth		mm	1327		2100		2100		
Height		mm	1330		1330		1330		
Compressor									
Quantity			1	1	1	1	2	2	
Number of capacity stages			1	1	1	1	2	2	
Refrigerant									
Charge		kg	8.8	9.7	10	13.2	22	26.5	
Capacity control		teqCO ₂	15.6	17.2	17.7	23.4	39.0	47.0	
Minimum capacity		%	100	100	100	100	50	50	
* In accordance with standard EN14511-3:2018 In accordance with standard EN14518-2018, average climate									
HA1		Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 30°C/35°C, outside air temperature tdb:7°C 7°C db/5°C wb, evaporator building factor 6 m ² /kW							
HA2		Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 40°C/45°C, outside air temperature tdb:7°C 7°C db/5°C wb, evaporator building factor 6 m ² /kW							
HA3		Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 47°C/47°C, outside air temperature tdb:7°C 7°C db/5°C wb, evaporator building factor 6 m ² /kW							
HA4		Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 55°C/55°C, outside air temperature tdb:7°C 7°C db/5°C wb, evaporator building factor 6 m ² /kW							
		Values calculated in accordance with EN14518-2018							
** Bold values compliant to Ecodesign regulation (EU) No 813/2013 for Heat Pump application Not applicable									
† Weight shown is a guideline only. Please refer to the unit nameplate									
(1) In db m=10-10 W, (A) weighting. Declared sound power emission values in accordance with ISO 4871 (with an associated uncertainty of ±3dB(A)). Measured in accordance with ISO 9614-1 and certified by Ecovect.									
(2) In db m=20Pa, (A) weighting. Declared sound pressure noise emission values in accordance with ISO 4871 (with an associated uncertainty of ±3dB(A)). For information: 100% outdoor, low power level (A).									
(3) In db m=20Pa, (A) weighting. Declared sound pressure noise emission values in accordance with ISO 4871 (with an associated uncertainty of ±3dB(A)). For information: 100% outdoor, low power level (A).									

* In accordance with standard EN14511-3:2018
 ** In accordance with standard EN14525:2018, average climate
 HA1 Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 30°C/35°C, outside air temperature tdb/twb = 7°C db/6°C wb, evaporator heating factor 0 m³/kW
 HA2 Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 40°C/45°C, outside air temperature tdb/twb = 7°C db/6°C wb, evaporator heating factor 0 m³/kW
 HA3 Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 47°C/55°C, outside air temperature tdb/twb = 7°C db/6°C wb, evaporator heating factor 0 m³/kW
 HA4 Heating mode conditions: Water heat exchanger water entering/leaving temperature 55°C/65°C, outside air temperature tdb/twb = 7°C db/6°C wb, evaporator heating factor 0 m³/kW
 Values calculated in accordance with EN14525:2018
 Bold values compliant to Ecodesign regulation: (EU) No 813/2013 for Heat Pump application
 Not applicable
 Weight shown is a guideline only. Please refer to the unit nameplate
 (1) In dB ref 10⁻¹² W, (A) weighting. Declared ducted noise emission values in accordance with ISO 4871 (with an associated uncertainty of ±1.3dB(A)). Measured in accordance with ISO 9614-1 and certified by Eurovent.
 (2) In dB ref 25μPa, (A) weighting. Declared ducted noise emission values in accordance with ISO 4871 (with an associated uncertainty of ±1.3dB(A)). For information, calculated from the sound power level Lw(A).
 (3)

Visto a carga térmica ser calculada para o pico de consumo com um valor de 145 kW, considerou-se uma simultaneidade do sistema de cerca de 70%. Com isto, será necessário instalar 100 kW. Para tal será necessário a instalação de duas bombas de calor em cascata. Conforme figura 33 e com maior pormenor no anexo IV.

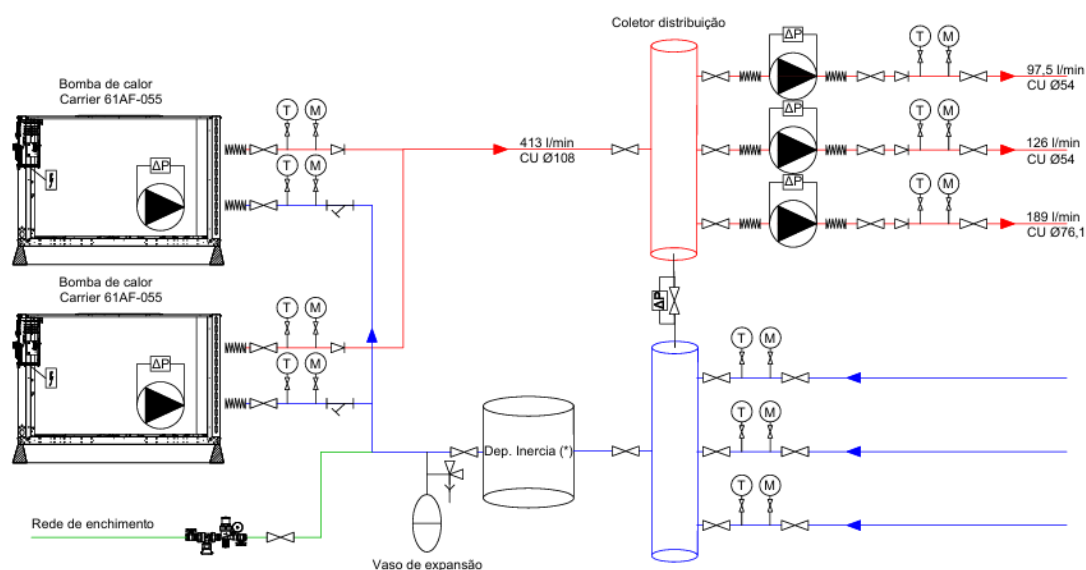


Figura 33 – Esquema de princípio hidráulico da solução de aquecimento com 2 Bombas de Calor em Cascata.

4.2.3. Seleção emissores térmicos para Aquecimento Central

A transferência de energia para o ar ambiente de um espaço climatizado é feita através de emissores térmicos. No que toca a aquecimento central, estes definem-se em três tipologias.

As temperaturas de trabalho de cada um dos emissores térmicos para aquecimento é dada pelo Manual SCE, tabela 20:

Tabela 20 – Temperaturas de trabalho de emissores térmicos.

Tipologia emissores térmicos	Temperatura da água quente à saída da fonte de calor	Classificação da temperatura
Radiadores	65°C	Alta
Ventiloconvectores	45°C	Intermédia
Pavimento radiante	35°C	Baixa

4.2.3.1. Radiadores

Os radiadores são equipamentos que permitem trocar calor entre a água que circula no seu interior e o ar externo, mantendo a temperatura interior estável.

Podem ser fabricados de diferentes materiais, tais como alumínio e ferro fundido, conforme figura 34.

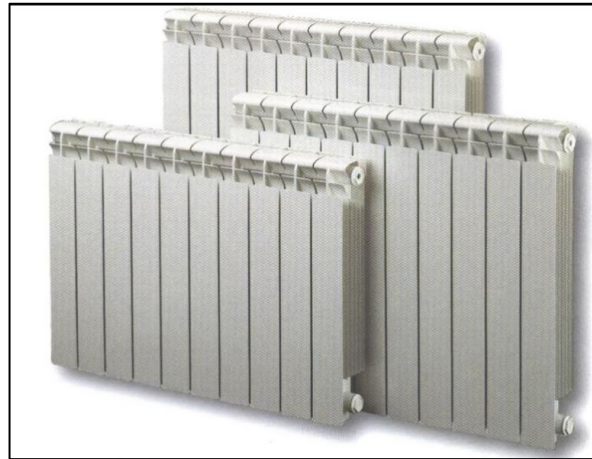


Figura 34 – Radiadores de alumínio.

O radiador de alumínio é o mais comum nas instalações, tanto domésticas, como em edifícios de comércio e serviço. O dimensionamento desta tipologia é feito em função do número, dos chamados, “elementos”. Cada elemento emite uma determinada capacidade calorífica em função da temperatura média da água. Ou seja, quanto maior a temperatura média da superfície do radiador, maior a sua capacidade calorífica. Um radiador terá mais ou menos elementos em função da carga térmica do espaço a climatizar.

A expressão de cálculo da temperatura média da superfície do radiador é definida em função da temperatura média da água, tendo em conta o ilustrado na figura 35.

$$\Delta T_m = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [23]$$

T_{in} → Temperatura de entrada da água ($^\circ\text{C}$);

T_{out} → Temperatura de saída da água ($^\circ\text{C}$).

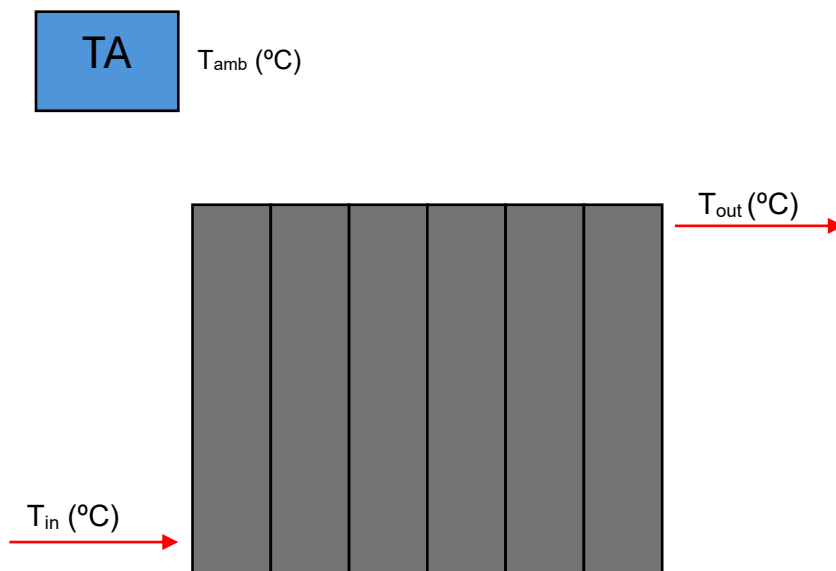


Figura 35 – Cálculo de radiadores de alumínio em função do número de elementos.

O valor de emissividade de cada elemento de radiador é dado pela diferença entre a temperatura média da superfície do elemento e a temperatura interior requerida:

$$\Delta T_{nom} = \Delta t_m - T_{amb} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad [24]$$

Δt_m → Salto térmico radiadores ($^\circ\text{C}$);

T_{amb} → Temperatura ambiente requerida ($^\circ\text{C}$).

Com este valor, e através da análise de tabelas de seleção de radiadores, obtém-se a capacidade térmica de cada elemento e consequentemente o dimensionamento do radiador em função da carga térmica em aquecimento, tabela 21.

Tabela 21 – Tabela de seleção de radiadores.

Model	Heat output					
	ΔT 20	ΔT 30	ΔT 40	ΔT 50	ΔT 60	ΔT 70
	W/sect.	W/sect.	W/sect.	W/sect.	W/sect.	W/sect.
500/100	33,9	57,0	82,4	109,8	138,7	169,0
600/100	39,3	66,2	95,7	127,5	161,2	196,5

O controlo de um radiador é essencialmente feito através de válvulas termostáticas à entrada de cada radiador, reguladas em função da temperatura interior requerida (temperatura de set-point). Por norma, são utilizados termostatos interiores regulados pelo utilizador em função das suas necessidades, para regular a válvula termostática, conforme ilustrado na figura 36.

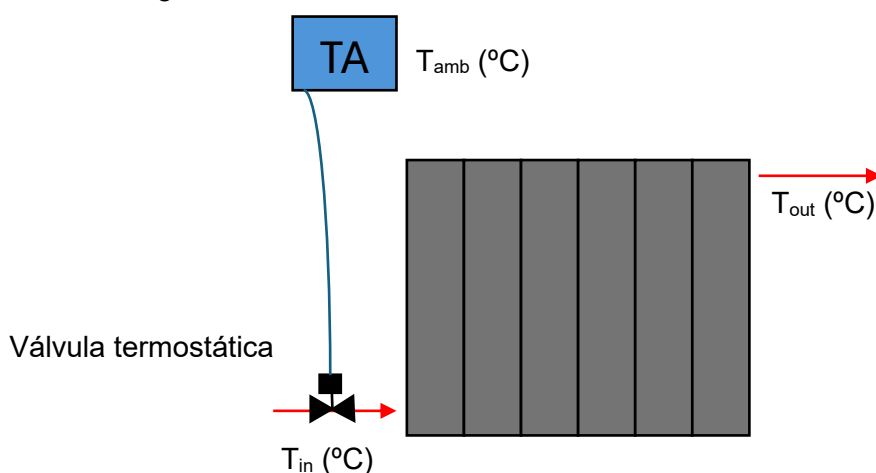


Figura 36 – Controlo típico de radiadores.

4.2.3.2. Pavimento radiante

O pavimento radiante é um sistema emissor que permite equilibrar as cargas sensíveis de um espaço, trazendo conforto térmico, do mesmo modo que os radiadores.

O efeito da circulação de água através de uma tubagem mergulhada em argamassa, permite transformar um piso num emissor térmico através da troca térmica por irradiação. Os pavimentos radiantes hidráulicos funcionam com uma pequena diferença de temperatura entre a água e o ambiente a climatizar, tanto para aquecimento no Inverno como no Verão em arrefecimento, bem como entre o ar ambiente e o ar exterior, por isso que são definidos como sistemas com diferença de temperatura reduzida.

A construção de uma solução através de pavimento radiante pode ter vários formatos. As duas soluções mais comuns são:

- Chão sólido:

Os tubos hidráulicos são assentes numa placa de isolamento colocada sobre uma base sólida de betão. Posteriormente a betonilha sobre a tubagem. Normalmente, esta solução é utilizada em pisos térreos, figura 37.

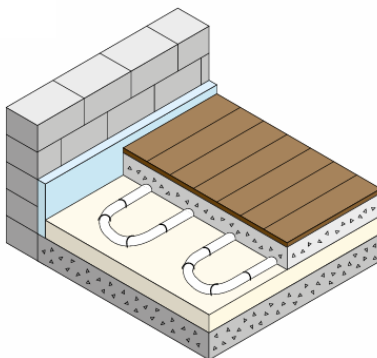


Figura 37 – Construção pavimento radiante em chão sólido.

- Chão flutuante:

Os tubos hidráulicos são assentes em placas de suporte (normalmente poliestireno de várias densidades). Os painéis têm uma gama entre 30mm e 70mm de espessura, dependendo da solução requerida.

Uma vez concluída a construção do painel/placa, a tubagem pode ser instalada e posteriormente colocado o chão flutuante na parte superior do sistema, figura 38.

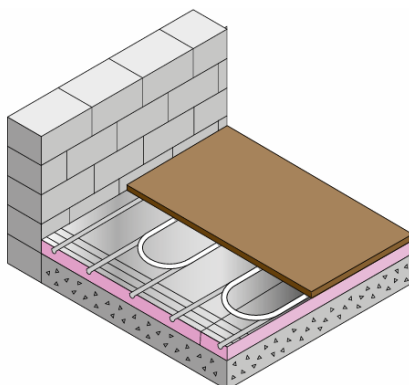


Figura 38 – Construção pavimento radiante em chão flutuante.

A distribuição de energia, via tubagem de água quente, é feita através de coletores. Estes coletores fornecem a cada circuito o caudal hidráulico necessário em função das necessidades. Normalmente, estão munidos de um grupo de circulação, capaz de fazer circular a água entre os circuitos de climatização.

O controlo do caudal fornecido em cada circuito, regulado para as necessidades, é feito através de válvulas motorizadas, controladas através de sinais provenientes de termostato ambientes.

A figura 39 ilustra um coletor/grupo circulação de uma solução de pavimento radiante.

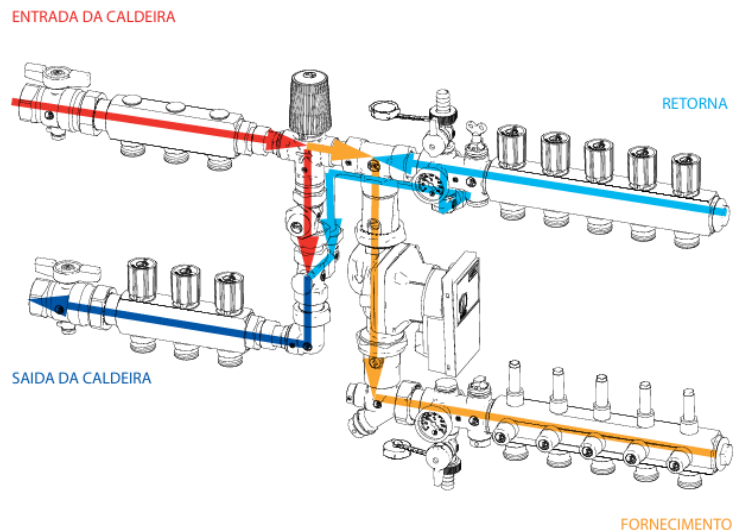


Figura 39 – Coletor de distribuição do pavimento radiante.

A tubagem aplicada para circulação da água quente é de material plástico (PEX, polietileno, multicamada ou polibutileno). Esta característica permite resistência mecânica aos esforços originados pelas temperaturas e pressões de uso, ausência dos fenómenos de corrosão típicos dos metais (devido ao facto de o tubo estar encastrado no pavimento) e maior flexibilidade na instalação (devido as sucessivas curvaturas necessárias à instalação), figura 40.



Figura 40 – Tubagem pavimento radiante.

Na instalação da tubagem é importante ter em conta a forma como é instalada (espiral ou serpentina) e o passo (distância da passagem de um tubo ao outro). Usualmente a instalação do tubo em feita em espiral, por permitir maior uniformidade da distribuição de calor e rapidez de instalação. Conforme figuras 41 e 42.

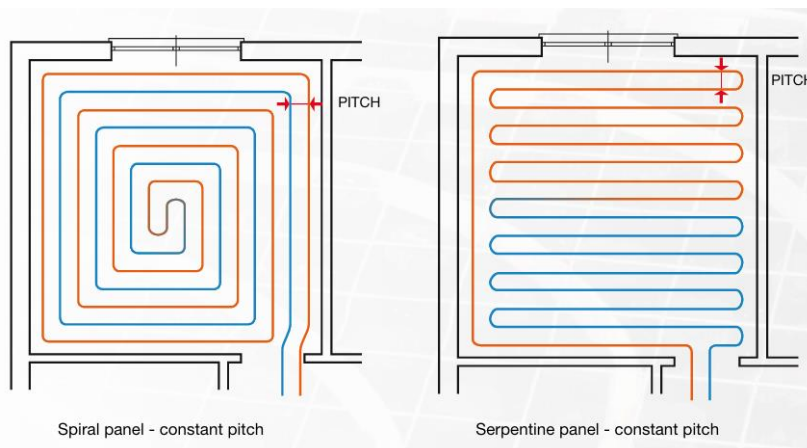


Figura 41 – Instalação da tubagem do pavimento radiante em espiral e serpentina, com passo constante.

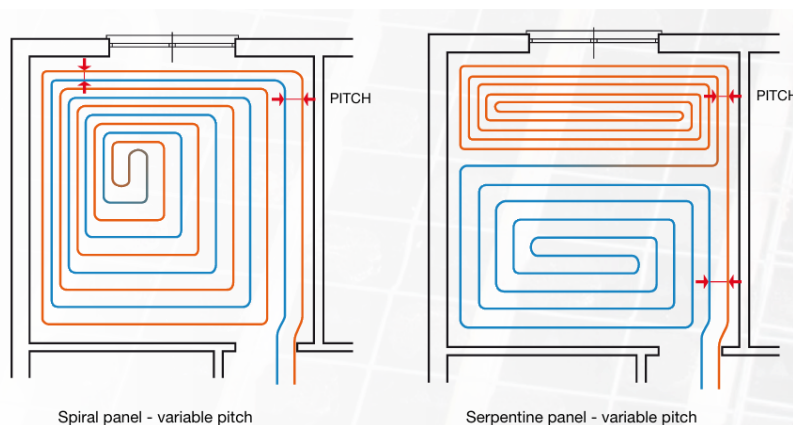


Figura 42 – Instalação da tubagem do pavimento radiante em espiral e serpentina, com passo variável.

A utilização de um passo variável existe quando a carga térmica de determinado espaço é significativamente grande comparando com a área disponível de pavimento. O passo variável permite que se consiga passar maior quantidade de tubagem em espaços pequenos, com cargas térmicas grandes.

4.2.3.3. Ventiloconvectores

Um ventiloconvector é um equipamento, que utiliza um permutador de calor ar-água e um ventilador, de forma a permutar calor com o ar ambiente, conforme figura 43.

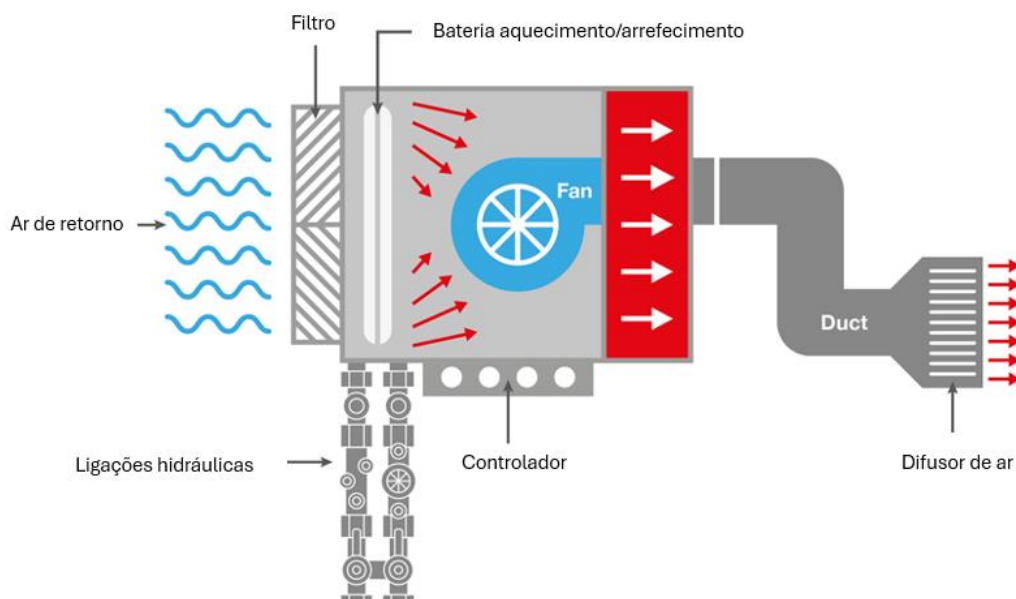


Figura 43 – Esquema de um ventiloconvector.

Os ventiloconvectores podem ser classificados em diferentes tipologias:

- Murais;
- Consolas de chão;
- Ligação a condutas para instalação em teto falso;
- Outros...

A permuta de calor com o ar interior é feita através de uma bateria ar-água, onde o caudal de água é proveniente da fonte de calor. Em função desse caudal e da velocidade do ventilador, o ventiloconvector consegue fornecer mais ou menos potência térmica.

Como norma, os ventiloconvectores dispõem de 3 velocidades do ventilador, que podem ser utilizadas em função das necessidades. Existem também unidades onde o ventilador dispõe de um motor ECM, onde a velocidade é variável.

O caudal de água a passar na bateria do ventiloconvector, deve ser calculado em função das necessidades de aquecimento ou arrefecimento. Neste sentido é necessário instalar uma válvula de equilíbrio dinâmico à entrada da unidade, de forma a equilibrar o caudal. O controlo deverá ser feito através de uma válvula de 2 ou 3 vias, em função do tipo de bomba circuladora de água do sistema. Caso a bomba circuladora seja de caudal variável, deve-se utilizar uma válvula de 2 vias que se regula em função do fluxo de caudal. Caso a bomba circuladora seja de caudal fixo, deve-se utilizar uma válvula de 3 vias para garantir by-pass do caudal excedente para que na aspiração da circuladora surja o fluxo de água total. A figura 44 ilustra as duas tipologias de instalação de ventiloconvectores.

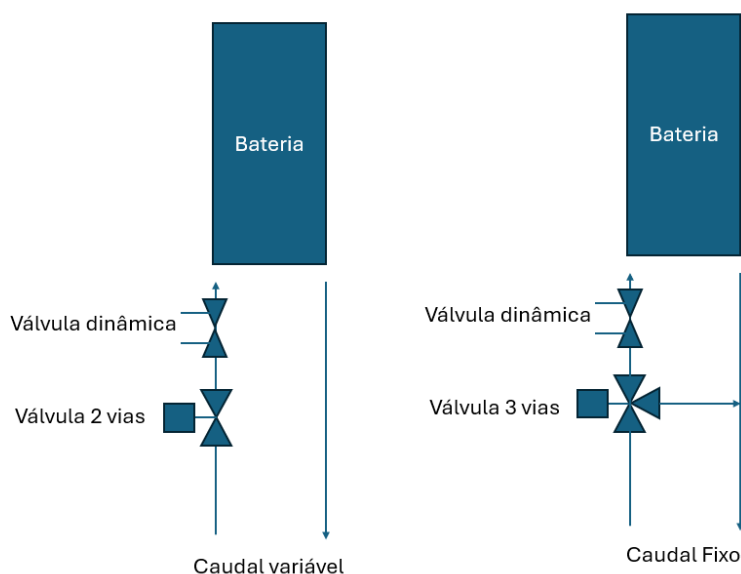


Figura 44 – Esquema ligação hidráulica ventiloconvectores.

4.2.3.4. Vantagens e desvantagens

Cada emissor térmico tem as suas características, que devem ser analisadas sempre que estamos perante um projeto focado na eficiência energética. Para tal, foi feita uma análise de prós e contra de cada um destes equipamentos, de modo, a facilitar a seleção, tabela 22:

Tabela 22 – Pros e Contras de cada emissor térmico.

Tipologia emissores térmicos	Vantagens	Desvantagens
Radiadores/convetores	- Elevado nível conforto térmico - Distribuição do ar quente feito de forma natural (de baixo para cima); - Não existe ruído associado. - Durabilidade elevada.	- Alta temperatura (temperatura mínima da água de 60°C); - Interfere com a arquitetura interior; - Difícil homogeneidade na distribuição de calor
Ventiloconvectores	- Rápido a atingir a temperatura de set-point interior; - Diferentes tipologias (condutas, murais, consola, etc.); - Com ventiloconvectores de condutas, não há influência na arquitetura interior.	- Possibilidade de ruído (ventilador para convecção forçada); - Consumo elétrico do ventilador e válvula de 3 ou 2 vias;

	- Fácil controlo (termostatos ambientes); - Possibilidade de trabalhar em arrefecimento (bomba de calor)	- Temperatura mínima da água para alimentar a bateria de 45°C.
Pavimento radiante	- Baixa temperatura (água a 35°C); - Maior eficiência energética; - Elevado nível conforto térmico - distribuição do ar quente feito de forma natural (de baixo para cima); - Não há influência na arquitetura; - Fácil controlo (termostatos ambientes); - Não existe ruído associado;	- Custo elevado; - Difícil instalação (maior componente técnica); - Maior intervenção na construção civil (roços, negativos, betonilha, etc); - Menor capacidade quando maior for o pé-direito; - Maior tempo para estabilização térmica (atingir o set-pint interior)

4.2.3.5. Análise energética e seleção do emissor térmico

Para seleção do emissor térmico é necessário analisar o circuito frigorífico de uma bomba de calor ar-água e como a sua eficiência é afetada pela temperatura da água.

Para tal, analisou-se a eficiência de uma bomba de calor em função da temperatura exterior e a temperatura da água, conforme figura 45:

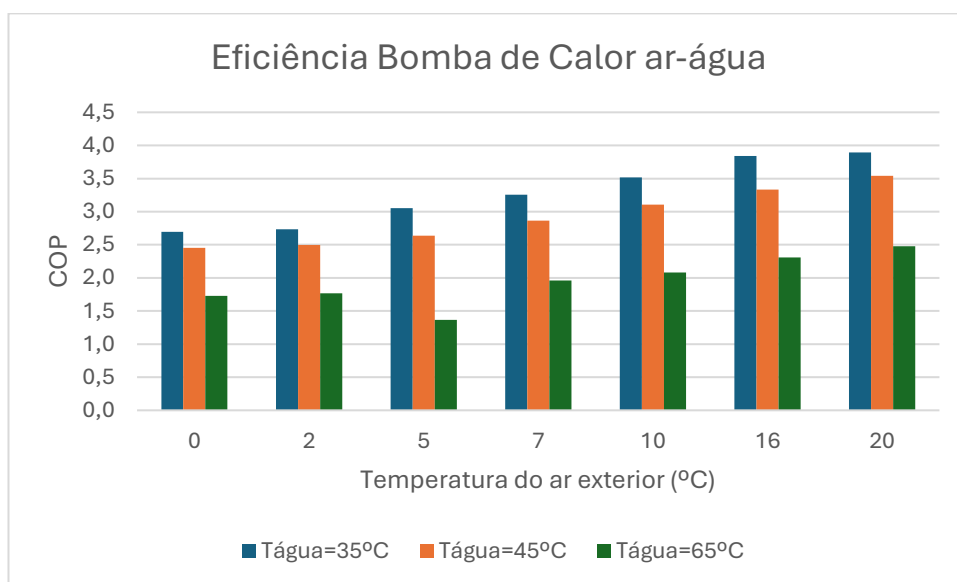


Figura 45 – Eficiência energética de uma bomba de calor ar-água genérica em função da temperatura de avanço da água e temperatura do ar exterior.

Tágua=35°C – Pavimento radiante;

Tágua=45°C – Ventiloconvectores

Tágua=65°C – Radiadores

Visto o edifício estar equipado com radiadores, a solução mais económica seria mantê-los, alterando apenas a fonte de calor para uma solução mais eficiente. No entanto, apesar de ser necessário uma obra estruturante para implementação, o pavimento radiante será a solução com maior benefício ao nível energético, visto operar a temperaturas baixas da água, levando a bomba de calor trabalhar com maiores eficiências comparativamente com os radiadores. Como neste projeto não será feita uma análise ao investimento de obra, o emissor térmico escolhido será o pavimento radiante.

4.3. Produção AQS

4.3.1. Seleção fonte de calor para produção de Água Quente Sanitária

No capítulo 3.2, elaborou-se um estudo, onde através da distribuição da temperatura do depósito, consegue-se projetar um sistema de produção de água quente sanitária. Este método (baseado no método do Consumo vs Produção), permite dimensionar a fonte de calor ideal para as necessidades.

Na tabela 23, encontra-se a energia produzida pela fonte de calor, acumulada ao longo de 24 horas, para a solução ideal (solução 1).

Tabela 23 – Energia térmica acumulada, debitada pela fonte de calor na solução ideal (soluções) de produção de AQS.

Hora	Apoio da Fonte de calor (kWh) - Acumulado
	Solução 1
1	2
2	4
3	7
4	12
5	19
6	31
7	73
8	115
9	157
10	199
11	241
12	283
13	325
14	361
15	387
16	410
17	438
18	459
19	501
20	531
21	541
22	553
23	560
24	562

No edifício estão instalados um conjunto de 56 coletores solares térmicos, que podem ser aproveitados para produzir energia solar e utilizá-la como fonte renovável na produção de AQS.

Considerando 56 coletores solares com uma área de abertura de $2,43 \text{ m}^2$, orientados a sul e inclinação 33° . Obtemos o seguinte aproveitamento, conforme figura 46:

Desempenho do sistema térmico				Projecto: Projeto LATI		
Mês	Rad.Horiz. kWh/m ²	Rad.Inclin. kWh/m ²	Desperdiçado kWh	Fornecido kWh	Carga kWh	Apoio kWh
Janeiro	68	85	,	6462	21587	15125
Fevereiro	87	102	,	7421	19005	11584
Março	144	158	,	11026	20252	9226
Abril	172	174	,	11513	19050	7537
Maio	213	205	,	12837	18677	5840
Junho	231	217	,	13335	16673	3338
Julho	244	233	,	14099	16170	2071
Agosto	212	211	,	13573	16121	2549
Setembro	163	174	,	12193	16254	4061
Outubro	114	130	,	9791	18380	8588
Novembro	72	89	,	6773	19375	12601
Dezembro	58	72	,	5528	21057	15529
Anual	1778	1850	,	124552	222603	98051
Rendimento global anual do sistema: 50%				Fração solar: 56,0% Produtividade: 917 kWh/[m ² coletor]		

Figura 46 – Desempenho do sistema solar térmico de apoio às AQS.

De forma a analisar o efeito da energia produzida pelo sistema solar térmico, considerou-se os valores associados ao mês de dezembro, sendo o mês menos favorável à captação de energia solar. Como a avaliação é feita diariamente, considerou-se o dia 30 de dezembro. Na tabela 24 estão representados os dados relativamente à produção solar.

Tabela 24 – Fração solar, do sistema solar térmico, ao longo de 24h.

Consumo AQS (kWh)	Produção Solar (kWh)	Fração solar (%)	Produção Fonte Calor (kWh) [Retirando aproveitamento so- lar]
2	0,4	19%	1,7
2	0,3	13%	1,8
3	0,3	9%	2,5
5	0,3	7%	4,5
7	0,6	8%	6,4
13	0,5	4%	12,0
65	1,4	2%	28,6
109	6,4	6%	23,6
56	9,4	17%	20,6
52	9,2	18%	20,8
49	15,5	32%	14,5
46	21,3	46%	8,7
49	25,3	51%	4,7
36	30,0	84%	0,1
26	21,4	81%	5,0
23	15,4	67%	7,5
29	12,5	44%	16,0
20	13,9	69%	6,2
42	8,4	20%	21,6
31	14,4	47%	15,6
10	7,9	81%	1,9
13	2,0	16%	10,5
6	2,2	36%	4,0
3	1,0	36%	1,8

A vantagem do sistema solar incide nas horas de maior consumo de energia que consequentemente são as mesmas onde o custo de energia elétrica é mais caro. Neste sentido, é possível reduzir o valor da fatura energética de forma significativa.

4.3.2. Análise de consumos, emissões de CO₂ e custos de operação na produção de Água Quente Sanitária

Do mesmo modo que na solução para aquecimento central, resolveu-se avaliar 3 tecnologias associadas: caldeira com condensação, caldeira a Pellets e bombas de calor ar-água a CO₂ (R744) (solução com eficiência energética mais elevada para trabalhar com diferenciais de temperatura elevados, logo indicado para AQS). No caso da solução bomba de calor, foi considerado uma unidade dedicada para as AQS, pois esta irá operar com temperaturas da água superiores ao aquecimento, deste modo, não afeta o consumo de energia no aquecimento central, que opera a temperaturas da água bastante menores. Na tabela 25 observa-se os consumos de energias.

Tabela 25 – Consumos de energia em AQS, para as 3 soluções comparadas.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	SCOP (Clima quente) AQS	Rendimento (%)	Consumo de energia (kWh/ano) AQS
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	4,3	-	20429
Caldeiras gás natural c/ condensação	BAXIROCA	BIOS PLUS 150 F	28,1-150,9	-	105,5%	83263
	BOSCH	Condens 7000 F 150	144	-	109,4%	80295
	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	-	109,7%	80075
Caldeira a Pellets	Solius	100	100	-	92,0%	95481
	Froling	PT4e 140	140	-	78,0%	112619

Conforme observado na tabela acima, a bomba de calor a CO₂ é a solução mais eficiente.

Em termos de emissões observa-se que a solução a pellets acaba por ser a solução que produz menos CO₂, sendo as mesmas nulas. No entanto a bomba de calor tem uma quantidade bastante inferior de emissões comparativamente com as caldeiras a gás natural, menos cerca de 50%, conforme observado na tabela 26.

Tabela 26 – Emissões de CO₂, para as 3 soluções comparadas

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	SCOP (Clima quente) AQS	Rendimento (%)	Emissão de kgeCO ₂ AQS
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	4,3	-	9601,4
Caldeiras gás natural c/ condensação	BAXIROCA	BIOS PLUS 150 F	28,1-150,9	-	105,5%	19184
	BOSCH	Condens 7000 F 150	144	-	109,4%	18500
	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	-	109,7%	18449
Caldeira a Pellets	Solius	100	100	-	92,0%	-
	Froling	PT4e 140	140	-	78,0%	-

O pellet, apesar de combustível de queima, que emite CO₂ para atmosfera, é considerado como uma fonte renovável pelo decreto-lei nº 71/2008. Isto deve-se ao fato de ser considerado uma biomassa. Logo, não é considerado fator de emissão de CO₂.

Um outro ponto importante a considerar na escolha de uma solução é o custo de exploração anual.

A análise do custo de operação da bomba de calor, deve ser visto em função da tarifa horária aplicada. No presente projeto assumiu-se uma tarifa tri-horária com custos escalonados em função do período. Considerando os valores do mercado regulado, conforme tabela 27. Na tabela 28 apresenta-se o custo da energia na operação do sistema.

Tabela 27 – Custo de eletricidade no mercado regulado, modelo tri-horário.

Horário		Custo de energia elétrica	
Bi-horário	Hora	Custo máximo da potência contratada (€/h)	Custo estimado energia activa (€/kWh)
Hora de vazio	1	0,146	0,09180
	2	0,146	0,09180
	3	0,146	0,09180
	4	0,146	0,09180
	5	0,146	0,09180
	6	0,146	0,09180
	7	0,146	0,09180
Cheias	8	0,146	0,1502
Ponta	9	0,146	0,2515
	10	0,146	0,2515
Cheias	11	0,146	0,1502
	12	0,146	0,1502
	13	0,146	0,1502
	14	0,146	0,1502
	15	0,146	0,1502
	16	0,146	0,1502
	17	0,146	0,1502
Ponta	18	0,146	0,2515
	19	0,146	0,2515
	20	0,146	0,2515
	21	0,146	0,2515
Hora de vazio	22	0,146	0,09180
	23	0,146	0,09180
	24	0,146	0,09180

Tabela 28 – Custo de exploração da solução Bomba de Calor, em água quente sanitária.

Horário		Custo de exploração diário - Bomba de Calor			
Bi-horário	Hora	Produção (kWht)	SCOP AQS	Consumo elétrico (kWhe)	Custo eletricidade (€/h)
Hora de vazio	1	1,70	4,3	0,40	0,182
	2	1,81	4,3	0,42	0,184
	3	2,52	4,3	0,59	0,200
	4	4,53	4,3	1,05	0,243
	5	6,37	4,3	1,48	0,282
	6	12,01	4,3	2,79	0,402
	7	28,60	4,3	6,65	0,756
Cheias	8	23,63	4,3	5,50	0,971
Ponta	9	20,63	4,3	4,80	1,353
	10	20,84	4,3	4,85	1,365
Cheias	11	14,51	4,3	3,38	0,653
	12	8,73	4,3	2,03	0,451
	13	4,68	4,3	1,09	0,309
	14	0,05	4,3	0,01	0,148
	15	5,00	4,3	1,16	0,320
	16	7,52	4,3	1,75	0,409
	17	15,98	4,3	3,72	0,704
Ponta	18	6,25	4,3	1,45	0,511
	19	21,58	4,3	5,02	1,408
	20	15,56	4,3	3,62	1,056
	21	1,87	4,3	0,44	0,255
Hora de vazio	22	10,51	4,3	2,44	0,370
	23	4,01	4,3	0,93	0,231
	24	1,77	4,3	0,41	0,184

Deste modo, o lar irá pagar pela eletricidade, associada às AQS, cerca de 13€ por dia e 4726€ anuais, o que quer dizer que o custo médio por kWh será cerca de 0,23 €/kWh.

Relativamente ao custo do gás natural e pellet, considerou-se um custo médio de 0,0905€/kWh [14] e 0,113 €/KWh (custo médio 8,45 €/15kg [15]), respetivamente.

Na tabela 29, estão indicados os custos de operação anuais dos diferentes equipamentos.

Tabela 29 – Custo de exploração anual das soluções para AQS.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	SCOP (Clima quente) AQS	Rendimento (%)	Custo de operação AQS. (€/ano)
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	4,3	-	4699
Caldeiras gás natural c/ condensação	BAXIROCA	BIOS PLUS 150 F	28,1-150,9	-	105,5%	7535
	BOSCH	Condens 7000 F 150	144	-	109,4%	7267
	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	-	109,7%	7247
Caldeira a Pellets	Windhager	BWE 632T	18,2-63	-	93,6%	10605
	Solius	100	100	-	92,0%	10789
	Froling	PT4e 140	140	-	78,0%	12726

Apesar de a caldeira a pellets não ser considerada como um equipamento emissor de CO₂. Observa-se que a bomba de calor tem um custo bastante inferior ao nível de exploração anual.

4.3.3. Seleção fonte de calor para produção de Água Quente Sanitária

Em função da análise do capítulo 4.2.2, observou-se que a solução mais eficiente para produção de AQS será a Bomba de Calor ar-água a CO₂, tendo um consumo elétrico anual de 58786 kWh/ano.

O gás CO₂ (R744) é um refrigerante ecológico e natural (GWP=1), não inflamável e não destrói agressivamente a camada de ozono (ODP=0).

Devido às suas características termodinâmicas, este gás opera a pressões elevadas, altas temperaturas de evaporação (aproximadamente 160°C), e é transcrito (condensa acima do ponto crítico). Isto permite obter temperaturas de acumulação de AQS elevadas e consequente maior volume para consumo e maior eficiência energética.

A bomba de calor de CO₂, devido às características do gás R744, acima mencionadas, tem a particularidade de conseguir taxas de compressor bastante elevadas, o que permite também trabalhar com grandes diferenciais de temperatura da água, o que torna uma unidade própria para a produção de AQS.

Para tal, selecionou-se a unidade ESA30EH22-25 da MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, representada na figura 47:



Figura 47 – Unidade Bomba de Calor a CO₂ para produção de AQS.

Caraterísticas principais da bomba de calor CO₂:

- Capacidade térmica nominal em AQS: 30 kW
- Consumo elétrico nominal em AQS: 7 kW
- COP em AQS: 4,30

Características técnicas, conforme tabela 30:

Tabela 30 – Caraterísticas técnicas Bomba de Calor AQS.

Model	ESA30EH2-25		
Nominal data	Power output (DHW production)		30
	Power input	A16/W65 ¹	7.0
	Performance coefficient		COP 4.30
Seasonal data	Test cycle profile		XXL
	Energy efficiency (nwh)	%	114
	Energy efficiency class		A
	Annual energy consumption	kWh/y	1909
Operating range	Outdoor air temperature	°C	-25~43
	Delivery water temperature		60~90
Refrigerant circuit data	Refrigerant	type (GWP)	R744 (1)
	Quantity (tons CO2)	kg (t)	8.5 (0.00)
	Compressor	type	Double stage - DC Inverter
Hydraulic data	Heat exchanger	type	Shell and tube
	Circulation pump	Static pressure	m (kPa) 5 m (49 kPa) @ 17L/min
	Water connections	Size	Inches 3/4" (DN20)
	Operating pressure	Min/Max	bar 1/5
Electrical data	Power supply	Ph-V-Hz	3Ph-380~415V-50Hz
	Maximum current	A	21
	Power cable (recommended)	type	5x6 mm ²
Product specifications	Fan	Air flow	m ³ /h 15600
		Static pressure	Pa 50
	Sound power level	dB(A)	70
	Dimensions	LxDxH	mm 1350x720x1690
Controls	Weight	Net	kg 375
	Wired control	Not included	RC-Q1EH2
	Modbus	Optional	RCI-MDQE2

The data reported above refers to the following standards: EN 14511:2018; EN 14825:2019; EN50564:2011; EN12102-1:2018; EN12102-2:2019; (FUI)No-811:2013; (FUI)No-813:2013; OJ 2014/C 207/02:2014 1. Water conditions: inlet 17° C, outlet 65° C.

4.3.4. Seleção depósito de acumulação para Água Quente Sanitária

Para os depósitos de acumulação de Água Quente Sanitária, considera-se um fabrico em aço esmaltado com ânodo de magnésio de modo a evitar corrosões devido ao calcário que possa ser gerado e depositado na cuba do mesmo. Devidamente isolado termicamente através de espuma rígida de poliuretano injetado.

Optou-se pela solução com duplo permutador (serpentina) de modo a aplicar o circuito da bomba de calor e do solar térmico, evitando misturas entre a água de consumo e os circuitos fechados.

Para o efeito, foi necessário considera a utilização de 3 depósitos de 2000l (tamanho standard) em paralelo, conforme esquema de princípio representado na figura 48 e detalhado no anexo V existindo um total de 6000l acumulados. Para além do fato de se utilizar medidas standard, considerar um volume superior ao cálculo é importante para garantir que, na possibilidade de existir consumos superiores ao previsto (5700l), o sistema conseguir ter uma “folga” para garantir água quente [9].

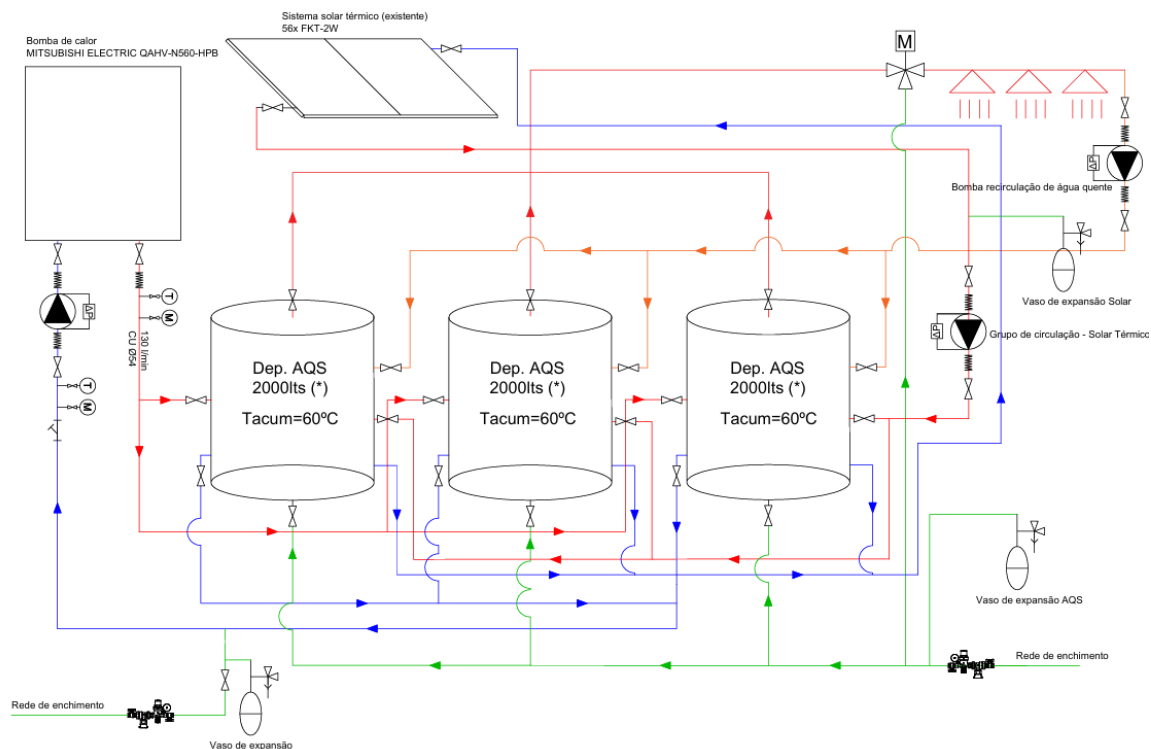


Figura 48 – Esquema de Princípio Hidráulico da solução para AQS.

Caraterísticas principais do depósito de AQS:

- 3 x 2000l = 6000l

- 2 serpentinas (bomba de calor e solar térmico)

A figura 49 representa as caraterísticas gerais do depósito:



Esmaltados AS 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 e 5000

Fabricados em aço esmaltado. Os modelos 1E e 2E incluem serpentinas desmontáveis de aço inoxidável.

Isolamento do depósito através de espuma rígida de poliuretano injetado, livre de CFC. Incorporam proteção por ânodo

de sacrifício de magnésio e indicador do seu estado (proteção eletrônica permanente disponível como acessório opcional).

AS 2000-2E	
Volume AQS	l 1.989
Permutador	2 serpentinas
Superfície serpentina inferior	m² 5,00
Volume serpentina inferior	l 29,00
Superfície serpentina superior	m² 3,30
Volume serpentina superior	l 18,00
Instalação	Vertical
Pressão máx. primário	bar 25
Temp. máx. primário	°C 120
Pressão máx. secundário	bar 8
Temp. máx. secundário	°C 90
Perdas estáticas	W 174
Peso vazio	kg 541

Figura 49 – Caraterísticas técnicas do depósito de AQS.

4.3.5. Sistema solar térmico

Considerou-se um sistema solar térmico com 136 m² de área de abertura. Considerando 56 coletores do modelo FKT-2W da Vulcano (não existe informação sobre as características do sistema instalado), cada com uma área de abertura de 2,43 m². A representação do coletor solar está indicada na figura 50.

Caraterísticas técnicas:

- Área de abertura do coletor → $A_{sol}=2,43 \text{ m}^2$
- Eficiência do coletor → $\eta_{col}=62\%$
- Eficiência com perdas nulas → $\eta_o=0,802$
- Coeficiente de primeira ordem → $a_1=3,83 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Coeficiente de segunda ordem → $a_2=0,015 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- Modificador do ângulo de incidência → $IAM=0,94$



Figura 50 – Coletor solar térmico.

4.3.6. Solução final para produção de Água Quente Sanitária

Resumo solução técnica:

- 3x Depósitos de acumulação de 2000l (6000l);
- Sistema solar térmico de 56 coletores com área de abertura de 2,43 m²
- Bomba de calor CO₂ com capacidade térmica de 30kW nominais;

Na figura 51, está representado a distribuição da temperatura da água no depósito considerando os equipamentos selecionados:

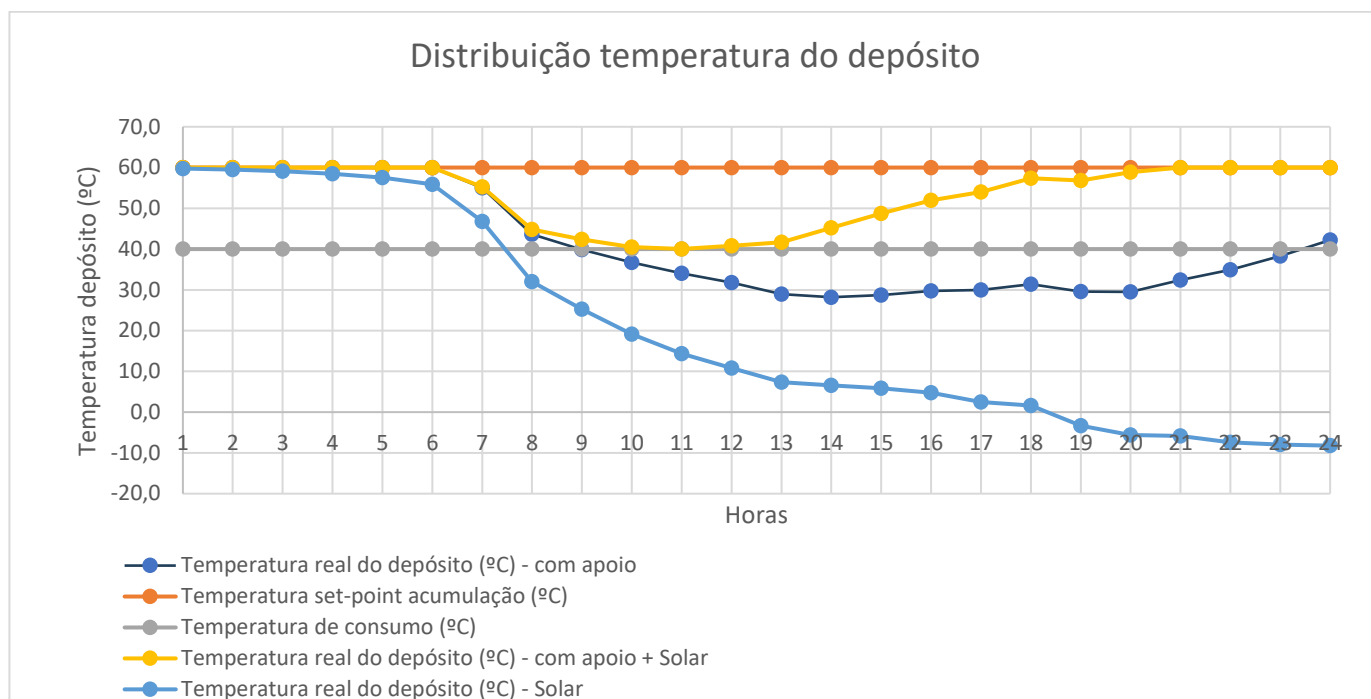


Figura 51 – Desenvolvimento da temperatura do depósito de AQS para a solução final.

Conforme observado na figura 51, a bomba de calor surge como complemento ao sistema solar térmico, visto o mesmo não ser capaz de produzir água quente sanitária suficiente.

5. Análise da solução integral final.

Neste capítulo será feito uma comparação entre consumos, emissões e custos de energia. A comparação será feita entre as soluções escolhidas (bombas de calor) e a caldeira a gás natural, sendo este o sistema instalado presentemente no edifício.

Conforme já indicado, não existe informação sobre as características da caldeira instalada, para além da potência mencionada no projeto de gás (300 kW). Logo, foi considerado, para a análise, a caldeira com maior eficiência das que foram escolhidas como referência.

5.1. Consumos energéticos vs solução com caldeira a gás natural.

No total, entre produção de AQS e aquecimento central, o consumo de energia calculado foi de 73277 kWh/ano, utilizando as bombas de calor ar-água. Considerando a caldeira com maior eficiência, o consumo energético será de 256394 kWh/ano. O que quer dizer que possivelmente a substituição das caldeiras a gás natural pelo sistema considerado poderá levar a uma poupança energética de até 70%. Conforme observado na tabela 31:

Tabela 31 – Comparação de consumos entre equipamento selecionado e caldeira a gás natural.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	Consumo de energia (kWh/ano) Aquecimento	Consumo de energia (kWh/ano) AQS	Consumo de energia TTL (kWh/ano)
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	-	20429	20429
	CARRIER	61AF-055	51,5	52848	-	52848
Caldeiras gás natural c/ condensação	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	176319	80075	256394

No total, entre produção de AQS e aquecimento central, as emissões de CO₂ calculadas foi de 34439,7 kgepCO₂/ano, com os equipamentos escolhidos. Considerando a caldeira com maior eficiência, as emissões serão de 59073 kgepCO₂/ano. O que quer dizer que possivelmente a substituição das caldeiras a gás natural pelo sistema considerado poderá levar a uma redução de emissões de CO₂ até 42%. Conforme observado na tabela 32:

Tabela 32 – Comparação de emissões de CO₂ entre equipamentos selecionados e caldeira a gás natural.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	Emissão de kgeCO ₂ Aquec.	Emissão de kgeCO ₂ AQS	Emissão TTL (kgeCO ₂ TTL)
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	-	9601,4	9601,4
	CARRIER	61AF-055	51,5	24838,3	-	24838,3
Caldeiras gás natural c/ condensação	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	40624	18449	59073

No total, entre produção de AQS e aquecimento central, o custo de exploração calculado foi de 15269€/ano, com os equipamentos escolhidos. Considerando a caldeira com maior eficiência, o custo de exploração é 23204 €/ano. O que quer dizer que possivelmente a substituição das caldeiras a gás natural pelo sistema considerado poderá levar a uma redução da fatura energética, até 35%, referente ao equipamento de aquecimento central e produção de AQS. Conforme observado na tabela 33:

Tabela 33 – Comparação de custo de operação entre equipamentos selecionados e caldeira a gás natural.

Tipologia	Marca	Referência	Capacidade nominal (kW)	Custo de operação Aquec. (€/ano)	Custo de operação AQS. (€/ano)	Custo de operação TTL. (€/ano)
Bomba de calor ar-água	MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	ESA30EH2-25	30	-	4699	4699
	CARRIER	61AF-055	51,5	10570	-	10570
Caldeiras gás natural c/ condensação	Viessman	Vitrocrossal 100	32-160	15957	7247	23204

6. Conclusão

No presente projeto, observou-se que a análise pormenorizada dos consumos de energia associados aos equipamentos para aquecimento central e produção de água quente sanitária é de extrema importância para o desenvolvimento de uma solução capaz de poupar energia e tornar o edifício mais sustentável, principalmente no caso de edifícios de serviço com grandes consumos, como o caso de um Lar de Idosos de grande dimensão.

No aquecimento central, é importante termos em conta a variável do emissor térmico. A temperatura da água que irá alimentar o sistema tem influência na eficiência do equipamento de produção, logo, não basta apenas analisar a eficiência da fonte de calor de forma isolada, mas sim considerando os fenómenos térmicos dos emissores. O pavimento radiante traz a capacidade de operar com temperaturas da água baixas, o que quer dizer que a fonte de calor pode operar num “regime menor”, consumindo menos energia. Deste modo, sem “olhar” a custos de investimento, a substituição de radiadores por pavimento radiante é bastante benéfica. Dentro de um vasto leque de equipamento produtores de água quente, a bomba de calor terá um impacto positivo no sistema, garantindo mais eficiência e menor despesa em energia.

Na produção de água quente sanitária, é importante dimensionar o sistema tendo sempre em consideração a temperatura de acumulação. Do mesmo modo que o aquecimento central, a temperatura da água produzida pela fonte térmica terá influência na eficiência da mesma, logo, para garantir um sistema de produção de água quente sanitária eficiente é importante considerar temperaturas de acumulação baixas, por norma a temperatura mínima para evitar problemas de aparecimento de legionella (p.e: 60°C) [8]. No entanto, em muitos casos, devido a restrições em obra (tais como, áreas técnicas com pouca dimensão), é necessário aumentar a temperatura de acumulação e/ou a potência térmica, de forma a diminuir o volume de acumulação e instalar depósitos menores. O cálculo do desenvolvimento da temperatura do depósito (baseado no método da Produção vs Consumo), traz a possibilidade de projetar o sistema de produção de AQS em conformidade com as necessidades do edifício, tanto construtivas, como energéticas. Este método é pouco considerado por gabinetes de projeto, devido, muitas das vezes, à falta de informação sobre perfis de consumo de AQS, no entanto, permite projetar um sistema mais ajustado às necessidades do edifício. Esta situação mostra a importância de no futuro existir um maior esforço por parte do cliente final em fornecer dados relacionados com um perfil de consumo, levando o projetista a desenvolver uma solução mais eficiente, otimizada e económica.

O objetivo do projeto foi estudar o contributo da eficiência energética e correto dimensionamento de equipamentos para aquecimento central e produção de AQS, num edifício de larga escala. No entanto, observou-se que na produção de AQS, é sempre importante o contributo de uma fonte de energia renovável, visto o pico de consumo ocorrer em horários onde a energia é mais cara.

Posto isto, o presente projeto adquiriu uma importância relevante ao nível pessoal no desenvolvimento de competências na análise energética, num edifício de grande escala, de diferentes soluções de aquecimento central e produção de AQS, sendo estes, na grande maioria dos casos, indissociáveis. No entanto, o ponto de maior importância foi o desenvolvimento de uma metodologia de cálculo para o desenho de uma solução de produção de AQS com base num determinado perfil de consumo, principalmente quando perante uma exigência como a de um lar de idosos. No geral, o curso Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia, pessoalmente como complemento à Engenharia Mecânica, garante uma formação mais profunda naquilo que é o ponto crucial no desenvolvimento de um projeto de climatização, no fundo a análise energética. Permitiu adquirir competências importantes de simulação energética, legislação e análise/monitorização de energia, bastante importantes para o dia-a-dia de um profissional do setor.

7. Bibliografia

- [1] Carrier.com, História: <https://www.carrier.com/commercial/pt/pt/sobre-carrier/historia/>
- [2] Diretiva (EU) 2024/1275 do Parlamento Europeu e do Conselho – EPBD – Energy Performance of Buildings Directive, abril 2024.
- [3] EN 2016/2281: Requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia, no respeitante aos requisitos de conceção ecológica dos produtos de aquecimento do ar, dos produtos para sistemas de arrefecimento, dos refrigeradores de processo de alta temperatura e dos ventiloconvectores; novembro 2016.
- [4] portugal.gov.pt, Estratégia de Longo Prazo de Combate à Pobreza Energética aprovada pelo Conselho de Ministros: [Estratégia de Longo Prazo de Combate à Pobreza Energética aprovada em Conselho de Ministros - XXIII Governo - República Portuguesa](#)
- [5] sgeconomia.gov.pt, Comissão Europeia – Observatório Para a Pobreza energética: [Comissão Europeia - Observatório Para a Pobreza Energética](#)
- [6] Decreto-lei nº 118/2013; Despacho (externo) 1573-I/2013-Metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.
- [7] Decreto-lei 118/2013; Despacho (externo) 15793-K/2013-Parâmetros térmicos.
- [8] N/I; Hidráulica 19 – Produção de água quente por acumulação o perigo “da Legionella”.
- [9] Roman Vavrcka. The Most Common Mistakes when Designing a Hot Water Storage Tank. REHVA Journal. Agosto 2018.
- [10] Carlos A. Pina dos Santos e Luís Matias; ITE50-Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios; 2006
- [11] Decreto-lei nº 101-D/2020; Portaria 138-I-2021-Requisitos de Conceção.
- [12] Decreto-lei 71/2008; Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia – Tabela 1; 2008.
- [13] Decreto-lei 71/2008; Despacho 17313/2008 - fatores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis selecionados para utilização final, bem como dos respetivos fatores para cálculo da Intensidade Carbónica pela emissão de gases com efeito de estufa, referidos a quilograma de CO₂ equivalente (kgCO₂e).
- [14] selectra.pt, Qual é o preço do gás natural em Portugal | Novembro 2024: <https://selectra.pt/energia/precos/gas-natural>
- [15] portal-energia.com, Preço Pellets: Tendências e previsões para o Mercado: [Preço Pellets: Tendências e previsões para o Mercado](#)
- [16] Luis Roriz; Climatização – Conceção, instalação e condução de sistemas; Edição Orion; novembro 2017.
- [17] N/I; O Dimensionamento de Instalações Hidrossanitárias; Foco Técnico Caleffi; Parte 2; 2016.
- [18] N/I; Sistemas de controlo remoto wireless e dinâmico para radiadores; Revista Hidráulica Caleffi; dezembro 2020.
- [19] N/I; Sizing Radiant Floor Systems; ITAP – Innovation technology and People; julho 2017.
- [20] N/I; Manual de Redes prediais; EPAL; fevereiro 2020.
- [21] Caleffi.com, Proteção antilegionella nas instalações de bombas de calor: <https://www.caleffi.com/pt-pt/blog/protecao-antilegionella-nas-instalacoes-com-bomba-de-calor>
- [22] EN 12831-3:2019: Método de cálculo de consumo e acumulação de depósitos para água quente sanitária

Anexo I – Dados ganhos internos

O presente anexo refere os valores utilizados nos ganhos internos do edifício, em iluminação, equipamentos elétricos e ocupação.

Zonas	Iluminação (W/m2)	Equipamentos elétricos (W/m2)	Ocupação (pess)
Piso 0			
Ginásio 2	8,4	15	5
Ginásio 1	8,4	15	5
Coord. Fisioterapia	6	15	2
Terapia ocupacional	6	15	2
I.S	4,6	-	-
Gabinete terapêutico	6	15	2
Escadas	2,3	-	-
Electroterapia	6	10	3
Contabilidade	6	15	2
Recepção	9,2	15	1
Atendimento	6	15	1
Recursos Humanos	6	15	2
Cabeleireiro	8,4	10	4
Copa (Bar)	8,4	250	1
Bar	2,1	15	10
I.S Mulheres	4,6	-	-
I.S Homens	4,6	-	-
Lavandaria Zona Úmida	2,1	500	3
Lavandaria Zona Seca	2,1	500	3
Entrada/Acesso	2,3	-	-
Escadas1	2,3	-	-
I.S e Vestiário	4,6	-	-
Gab. Coordenadores	6	15	2
Copa Sujos	4,2	250	1
Copa Sujos1	4,2	250	1
Cozinha	8,4	250	5
Apoio domiciliário	6	15	1
Corredor de circulação	2,3	-	-

Refeitório	6,9	15	30
------------	-----	----	----

Piso 1			
Sala convívio	3,9	15	10
Capela	2,6	15	6
Escadas	4,6	-	-
Salão Repouso	6,9	15	8
I.S	4,6	-	-
Sala jogos	6,9	15	8
Cozinha	8,4	250	2
Corredor de circulação	2,3	-	-
Gab. Diretora	6	15	1
Gab. Direção	6	15	1
Gab. Serviços	6	15	1
I.S1	4,6	-	-
Sala Estar	6,9	15	6
Banho ajudado	4,6	-	2
Quarto 5	2,3	15	2
Quarto 6	2,3	15	2
Quarto 7	2,3	15	2
Quarto 8	2,3	15	2
I.S2	4,6	-	-
Quarto 9	2,3	15	2
I.S3	4,6	-	-
Quarto 10	2,3	15	2
Quarto 11	2,3	15	2
I.S4	4,6	-	-
Corredor de circulação	2,3	-	
Sala de refeições	7,5	15	30
I.S Homens	4,6	-	-
I.S Mulheres	4,6	-	-
Terapia Ocupacional	6	15	2
Consultório 2	6	15	2
Consultório 3	6	15	2
Escadas	2,3	-	-

Esterilização	6	250	1
I.S5	4,6		-
Gabinete	6	15	1
Sala de refeições	4,5	30	30
Quarto 4	2,3	15	2
Quarto 3	2,3	15	2
Salinha	4,6	15	3
Quarto 2	2,3	15	2
Quarto 1	2,3	15	2
Banho ajudado	4,6	-	2
Farmácia	1,3	15	1
Sala preparação	8,4	15	3
Sala Tratamento	8,4	15	3
Consultório 1	6	15	2

Piso 2			
Banhos Ajudados	4,6	-	2
Corredor	6,9	-	-
Escadas	4,6	-	-
Escadas1	4,6	-	-
Esterilização	6	250	1
I.S.Q1	4,6	-	-
I.S.Q10	4,6	-	-
I.S.Q11	4,6	-	-
I.S.Q12	4,6	-	-
I.S.Q13	4,6	-	-
I.S.Q14	4,6	-	-
I.S.Q15	4,6	-	-
I.S.Q16	4,6	-	-
I.S.Q17	4,6	-	-
I.S.Q18	4,6	-	-
I.S.Q19	4,6	-	-
I.S.Q2	4,6	-	-
I.S.Q20	4,6	-	-
I.S.Q21	4,6	-	-
I.S.Q22	4,6	-	-

I.S.Q23	4,6	-	-
I.S.Q24	4,6	-	-
I.S.Q3	4,6	-	-
I.S.Q4	4,6	-	-
I.S.Q5	4,6	-	-
I.S.Q6	4,6	-	-
I.S.Q7	4,6	-	-
I.S.Q8	4,6	-	-
I.S.Q9	4,6	-	-
Kitchenete	10,5	250	1
Lavandaria	2,1	500	2
Quarto 1	2,3	15	2
Quarto 10	2,3	15	2
Quarto 11	2,3	15	2
Quarto 12	2,3	15	2
Quarto 13	2,3	15	2
Quarto 14	2,3	15	2
Quarto 15	2,3	15	2
Quarto 16	2,3	15	2
Quarto 17	2,3	15	2
Quarto 18	2,3	15	2
Quarto 19	2,3	15	2
Quarto 2	2,3	15	2
Quarto 20	2,3	15	2
Quarto 21	2,3	15	2
Quarto 22	2,3	15	2
Quarto 23	2,3	15	2
Quarto 24	2,3	15	2
Quarto 3	2,3	15	2
Quarto 4	2,3	15	2
Quarto 5	2,3	15	2
Quarto 6	2,3	15	2
Quarto 7	2,3	15	2
Quarto 8	2,3	15	2
Quarto 9	2,3	15	2
Sala de Estar	6,9	15	11

Sala de Estar1	6,9	15	6
Sala de Refeições	7,5	30	2
Vigilante	9	15	8

Anexo II – Cargas térmicas

O presente anexo refere os valores das cargas térmicas em aquecimento por cada divisão (espaço útil) do edifício.

Piso	Designação do espaço	Área útil (m2)	Carga térmica TTL AQ (W)
P0	Apoio Domiciliário	11,8	0,63
P0	Atendimento	10,1	0,74
P0	Bar	57,5	0,63
P0	Cabeleireiro	26,8	1,0
P0	Contabilidade	22,8	1,37
P0	Coord.Fisioterapia	6,6	0,00
P0	Copa (BAR)	7,5	0,00
P0	Corre.de Circulaçã	241	3,05
P0	Cozinha / Copas	105	5,36
P0	Electroterapia	54,1	0,84
P0	Entrada/Acesso	19,8	0,11
P0	Escadas	13,5	0,00
P0	Escadas1	18	0,63
P0	Gab. Coordenadores	23	0,32
P0	Gabinete Terapeuta	8,7	0,21
P0	Ginásio 1	39,2	0,95
P0	Ginásio 2	39,8	0,84
P0	I.S	8,4	0,11
P0	I.S e Vestiário	39,5	2,73
P0	I.S Homens	43,9	1,16
P0	I.S Mulheres	46,3	0,42
P0	Lav Zona Seca	27,9	0,53
P0	Lav. Zona Húmid	24,5	0,74
P0	Recepção	14,8	0,53
P0	Recursos Humanos	24,5	3,57
P0	Refeitório	133,2	5,99
P0	Terapia Ocup.	7,7	1,16
P0	Vestiário	9	0,42
P0	Vestiário / I.S.1	1,7	0,00
P0	Vestiário1	10,3	0,00
P1	Banho Ajudado	17,8	0,84

P1	Banho ajudado1	16,5	0,42
P1	Capela	46,4	1,89
P1	Consultório 1	19,1	0,63
P1	Consultório 2	13,3	0,00
P1	Consultório 3	16,1	0,63
P1	Corr. de circul.1	131,3	4,20
P1	Corr. de circulação	125,3	0,95
P1	Cozinha	9,9	0,53
P1	Escadas	14,3	0,00
P1	Escadas1	17,2	0,21
P1	Esterilização	12,5	0,00
P1	Farmácia	2,1	0,00
P1	Gab. Direcção	23,9	0,74
P1	Gab. Directora	22,4	0,74
P1	Gab. Serv. Admin.	20,3	0,63
P1	Gabinete	12,5	0,00
P1	I.S	22,1	1,79
P1	I.S Homens	26,5	0,00
P1	I.S Mulheres	26,8	0,42
P1	I.S1	3	0,00
P1	I.S2	23,5	0,00
P1	I.S3	6,8	0,00
P1	I.S4	6,8	0,00
P1	I.S5	3,4	0,00
P1	Quarto 1	25,3	0,63
P1	Quarto 10	20,6	1,47
P1	Quarto 11	16,4	1,37
P1	Quarto 2	13,8	0,74
P1	Quarto 3	15,5	1,58
P1	Quarto 4	21,6	0,63
P1	Quarto 5	24,6	0,63
P1	Quarto 6	28,3	2,00
P1	Quarto 7	31,8	2,10
P1	Quarto 8	23,5	3,05
P1	Quarto 9	30,9	3,36
P1	Recepção	5,9	0,42

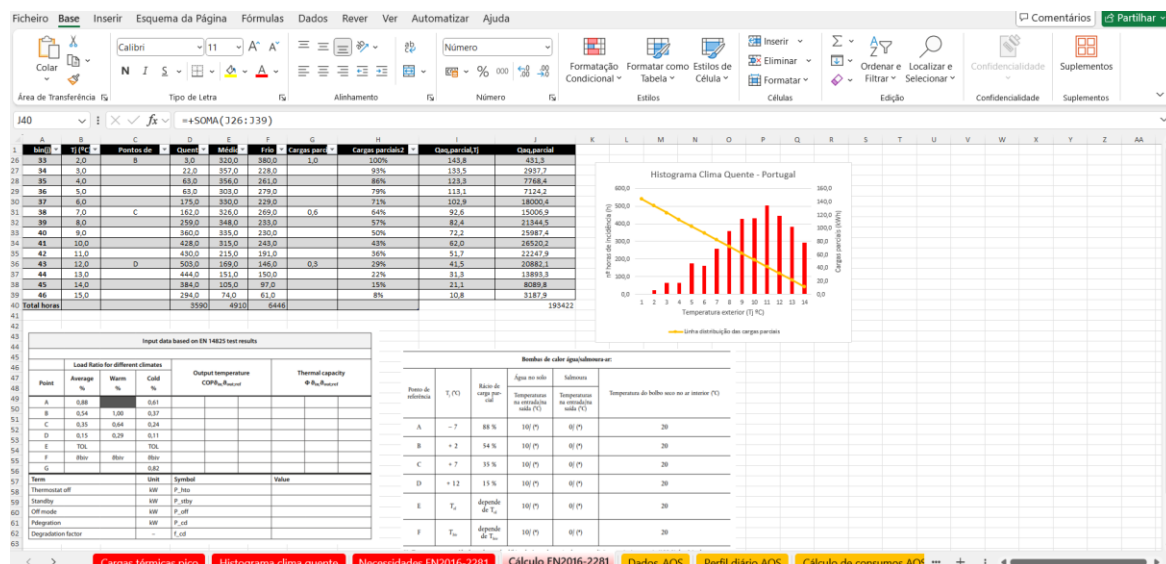
P1	Sala Convívio	96,1	3,36
P1	Sala de estar	36,1	0,95
P1	Sala de Refeições	20,1	0,42
P1	Sala de Refeições1	63,3	1,26
P1	Sala Jogos	53,2	0,53
P1	Sala Preparação	15,9	0,63
P1	Sala Tratamento	19,2	0,63
P1	Salão Repouso	65,1	1,58
P1	Salinha	8,1	0,53
P1	Terapia Ocup.	58,7	1,79
P2	Banhos Ajudados	15,7	0,95
P2	Corredor	266,5	10,19
P2	Escadas	14,3	0,32
P2	Escadas1	18,1	0,95
P2	Esterilização	5,6	0,32
P2	I.S.Q1	7,5	0,63
P2	I.S.Q10	6,6	0,21
P2	I.S.Q11	6,6	0,21
P2	I.S.Q12	6,8	0,21
P2	I.S.Q13	6	0,11
P2	I.S.Q14	7,9	0,32
P2	I.S.Q15	7,7	0,32
P2	I.S.Q16	5,9	0,11
P2	I.S.Q17	6,9	0,21
P2	I.S.Q18	8,5	0,74
P2	I.S.Q19	7,4	0,21
P2	I.S.Q2	7,9	0,63
P2	I.S.Q20	12	1,05
P2	I.S.Q21	22,2	0,53
P2	I.S.Q22	7,7	0,21
P2	I.S.Q23	7,7	0,21
P2	I.S.Q24	10,1	2,00
P2	I.S.Q3	7,5	0,74
P2	I.S.Q4	7,3	0,21
P2	I.S.Q5	6,9	0,21
P2	I.S.Q6	6,9	0,21

P2	I.S.Q7	7,2	0,21
P2	I.S.Q8	6,1	0,11
P2	I.S.Q9	6,8	0,21
P2	Kitchenete	9,1	0,42
P2	Lavandaria	14,9	0,74
P2	Quarto 1	30,2	2,63
P2	Quarto 10	23,5	2,52
P2	Quarto 11	23,5	2,52
P2	Quarto 12	23,6	1,05
P2	Quarto 13	20,9	1,16
P2	Quarto 14	27,7	1,37
P2	Quarto 15	28,5	1,58
P2	Quarto 16	22,3	1,16
P2	Quarto 17	22,6	1,16
P2	Quarto 18	23,4	1,26
P2	Quarto 19	25,3	1,26
P2	Quarto 2	30,4	2,84
P2	Quarto 20	23,2	1,37
P2	Quarto 21	22,2	1,16
P2	Quarto 22	24	1,26
P2	Quarto 23	24,1	1,26
P2	Quarto 24	27,7	1,58
P2	Quarto 3	20,1	1,16
P2	Quarto 4	20,3	1,16
P2	Quarto 5	26,7	1,05
P2	Quarto 6	27,6	1,37
P2	Quarto 7	23,8	1,16
P2	Quarto 8	20,9	1,58
P2	Quarto 9	23,6	1,26
P2	Sala de Estar	43,5	2,10
P2	Sala de Estar1	24,6	1,26
P2	Sala Refeições	30	1,47
P2	Vigilante	13,9	1,89

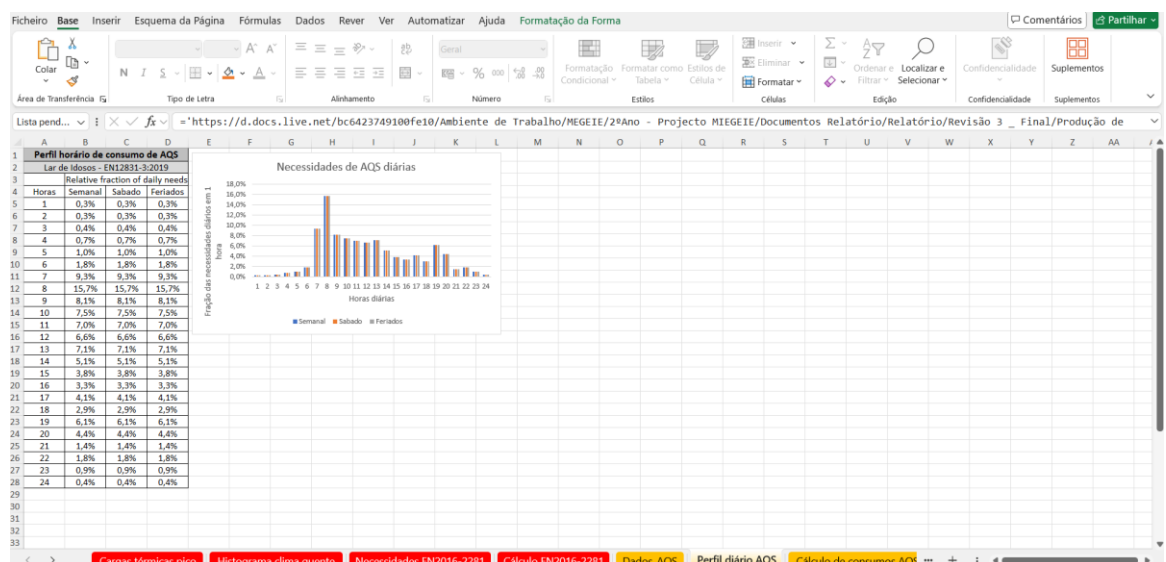
Anexo III – Folha de cálculo

O presente anexo visa mostrar algumas imagens do conteúdo da folha de calculo desenvolvida ao longo do projeto para cálculo de consumos de energia e produção de AQS:

- Cargas parciais anuais em aquecimento:



- Perfil diário em AQS:



• Acumulação e consumo de água quente sanitária:

• Evolução da temperatura no depósito em função de um determinado consumo e fonte de calor aplicada:

Ficheiro Base Inserir Esquema da Página Fórmulas Dados Rever Ver Automatizar Ajuda																Comentários		Partilhar...					
Colar		Calibri 11 A A		Geral		Formatar Condicional		Formatar como Tabela		Estilos de Célula		Inserir		Somatório		Ordenar e Filtar		Localizar e Selecionar		Confidencialidade		Suplementos	
Área de Transferência		Tipo de Letra		Alinhamento		Número		Estilos		Células		Edição		Confidencialidade		Suplementos							
Q40																							
C H A Q D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V																							
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
37																							
38																							
39																							
40																							
41																							
42																							
43																							
44																							
45																							
46																							
47																							
48																							
49																							
50																							

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura da saída

Perdas no depósito

Acumulação (kg)

Capacidade mínima (kg)

Capacidade máxima (kg)

Energia térmica de saída (J)

Energia térmica de entrada (J)

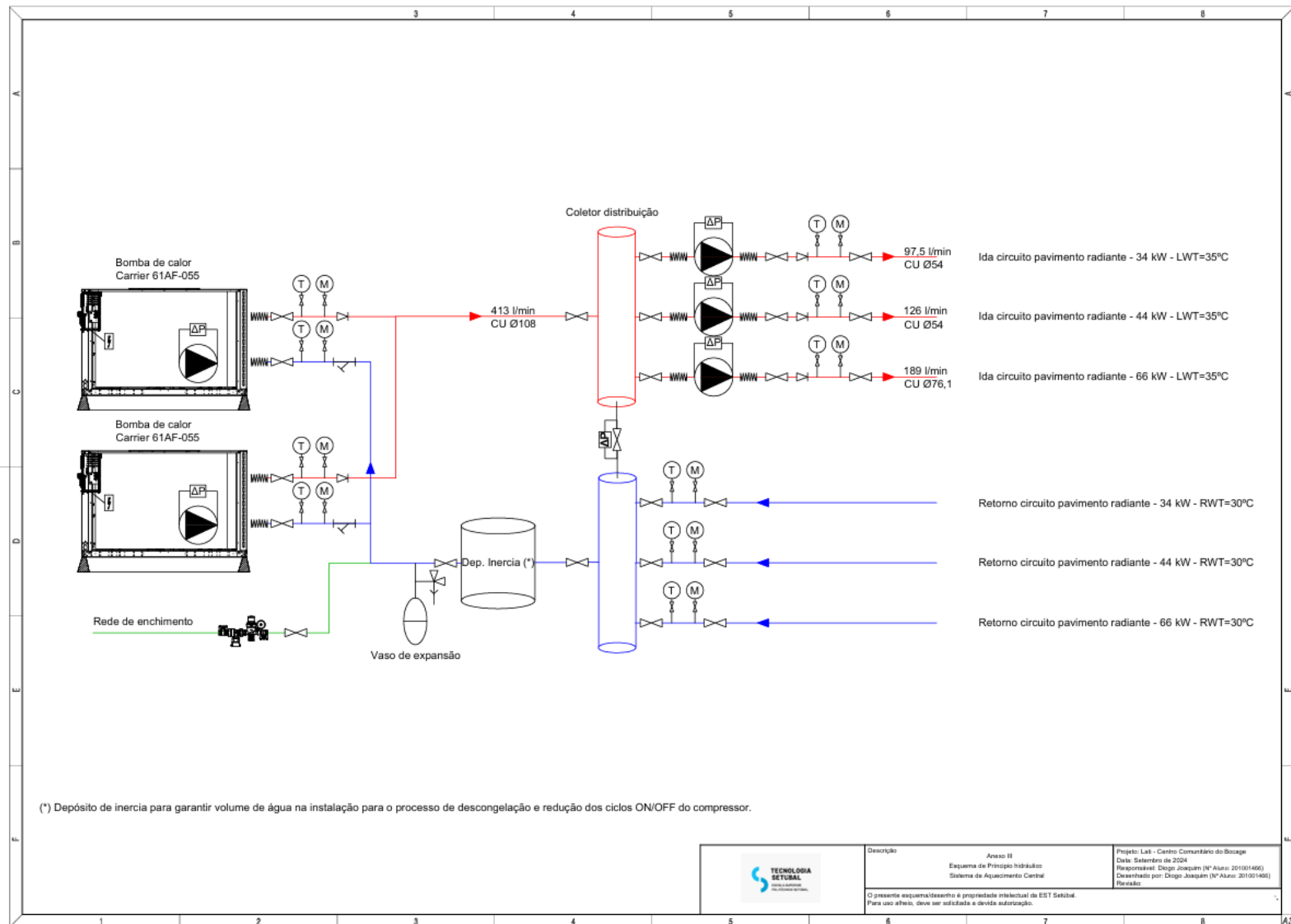
Temperatura de acumulação

Temperatura da corrente

Temperatura

Anexo IV – Esquema de Princípio Hidráulico – Aquecimento Central

O presente anexo, visa mostrar o esquema de princípio hidráulico da solução final de aquecimento central.



Anexo V – Esquema de Princípio Hidráulico – Produção de AQS

O presente anexo visa mostrar o esquema de princípio hidráulico da solução final de produção de AQS.

