



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Adaptabilidade dos Circuitos de Aquecimento Central Domiciliares ao Arrefecimento por meio de Termoconvectores

Telma Farinha Gonçalves

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletromecânica
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Alexandre Borges de Miranda
Coorientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, junho de 2019

Dedicatória

Gostaria de dedicar este trabalho à minha Mãe, ao meu Pai e ao meu Irmão pois eles sempre tiveram a paciência e a coragem para me educar e sempre me ajudarem em tudo o que puderam. Sempre apoiaram as minhas escolhas e nos meus momentos de indecisão e dúvida foram eles que me ajudaram a decidir e que me encorajaram a seguir para a frente.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer aos meus pais que me apoiaram para chegar aqui. Apesar das dificuldades sempre fizeram de tudo para que conseguisse concluir o curso.

Ao meu irmão com quem partilhei muitos momentos, muitas conversas, muitas brincadeiras... Nos meus momentos menos bons ele sempre me segurou, apoiou e ouviu.

De seguida quero agradecer à minha família, desde os que vejo todos os fins de semana até aqueles que passo anos sem ver, mas que apesar disso continuam a se preocupar e a apoiar.

Aos meus amigos, os antigos e os que fiz ao longo do curso. Foi uma longa jornada, com os seus altos e baixos, trabalhosa e com momentos de lazer, jantares, cinemas e cafés. Não me esquecerei destes momentos que marcaram a minha vida académica. Nunca me esquecerei do apoio que recebi de vocês.

Aos meus professores, em especial aqueles que me marcaram por quererem que eu me focasse mais nos estudos e que 'me deram na cabeça' para trabalhar mais e ter melhores resultados de modo a conseguir alcançar os meus objetivos.

Ao meu orientador Professor Alexandre Miranda e ao meu coorientador Professor Miguel Nepomuceno por toda a ajuda e disponibilidade mostrada ao longo do desenvolvimento da dissertação.

Resumo

Nos dias de hoje, grande parte das casas já vêm equipadas com um sistema de aquecimento central. Assim, o objetivo desta dissertação é fazer um estudo acerca da adaptação do sistema já existente de modo a que seja capaz de fazer arrefecimento.

Com esse objetivo em mente, é necessário efetuar algumas alterações ao mesmo. Essas alterações passam por ser necessário substituir os radiadores, pois estes conseguem distribuir o calor, mas não conseguem fazer o mesmo com o frio. É necessário fazer um estudo acerca do fluido a utilizar no sistema, visto que dependendo das temperaturas de funcionamento poderá haver problemas de solidificação. É preciso instalar um ‘depósito de frio’, de modo a ter uma fonte fria para fazer a distribuição de frio.

É necessário encontrarem-se soluções no sentido de viabilizar o sistema conjunto de produção/distribuição de frio/calor. As soluções propostas para este estudo passam pelo uso de ventiloconvectores para substituir os radiadores, poderá ser necessário usar água com anticongelante, de modo a evitar que haja solidificação da água dentro dos tubos. É imprescindível arrefecer o depósito, pelo que a solução proposta é um sistema de bomba de calor ar-água que seja capaz de produzir frio e calor.

Palavras-chave

Sistema arrefecimento, bomba de calor ar-água, ventiloconvector, climatização.

Abstract

Nowadays, most of the houses is equipped with a central heating system. Thus, the purpose of this dissertation is to study the adaptation of this existing system so that it is capable of cooling.

With this goal in mind, you need to make some changes to it. These changes passes by having to replace the radiators, as they can distribute the heat, but can not do the same with the cold. It is necessary to make a study about the fluid to use in the system, since depending on the operating temperatures there may be problems of solidification. It is necessary to install a 'cold storage' as we need to have a cold source to distribute cold.

It is necessary to find solutions to enable the cold/heat production/distribution system. The proposed solutions for this study are the use of fan coils to replace the radiators, it may be necessary to use water with antifreeze, in order to avoid any solidification of the water inside the tubes. It is imperative to cool the tank, so the proposed solution is an air-water heat pump system that is capable of producing cold and heat.

Keywords

Cooling system, air-water heat pump, fan coil, air-conditioning.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Descrição do Problema	2
1.1.1. Problemas Encontrados	2
1.1.2. Soluções Propostas	3
1.2. Objetivos	3
2. Tecnologias Existentes	5
2.1. Sistemas de Aquecimento	5
2.2. Sistemas de Arrefecimento	6
2.3. Sistemas de Aquecimento e Arrefecimento	7
2.4. Sistemas de Distribuição de Calor e Frio	10
2.4.1. Piso Radiante	10
2.4.2. Ventiloconvector	12
3. Estudo dos Elementos Principais Envolvidos	13
3.1. Bomba de Calor Ar-Água	13
3.2. Ventiloconvector	21
4. Estudo do Fluido a ser utilizado no Sistema Hidráulico	25
5. Metodologias de Cálculo das Cargas Térmicas (Necessidades Térmicas)	29
5.1. Formulário para Cálculo das Cargas Térmicas Típicas	30
5.2. Formulário para Cálculo das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil	35
5.2.1. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento	35
5.2.2. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento	36
5.2.3. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária	37
6. Casos de Estudo	43
6.1. Caso de Estudo 1	43
6.1.1. Área útil e pé-direito médio	45
6.1.2. Dados climáticos no local de implantação	46
6.1.3. Classe de inércia térmica	46
6.1.4. Taxa de renovação do ar	46
6.2. Caso de Estudo 2	46
6.2.1. Área útil e pé-direito médio	48
6.2.2. Dados climáticos no local de implantação	48
6.2.3. Classe de inércia térmica	49
6.2.4. Taxa de renovação do ar	49
7. Resultados Obtidos	51
7.1. Caso de Estudo 1	51
7.2. Caso de Estudo 2	53

8. Avaliação Económica.....	55
8.1. Caso de Estudo 1	56
8.2. Caso de Estudo 2	57
9. Conclusão	59

Lista de Figuras

Figura 1 - Caldeira Fogotubular (esquerda) e Caldeira Aquotubular (direita)	6
Figura 2 - Ciclo de refrigeração de Ar Condicionado	6
Figura 3 - Ciclo de Carnot	8
Figura 4 - Gráfico Temperatura - Entropia (T-s) do ciclo de Carnot.....	8
Figura 5 - Gráfico Temperatura - Entropia (T-s) do ciclo de compressão de vapor	9
Figura 6 - Piso Radiante Elétrico (esquerda) e Hidráulico (direita).....	10
Figura 7 - Ventiloinconvetor de Parede.....	12
Figura 8 - Eficiência vs Número de Ocorrências (Roy, Caird e Potter, 2010)	16
Figura 9 - Eficiência do Sistema vs Número de Bombas de Calor (Dunbabin e Wickins, 2012). ..	18
Figura 10 - Resultados obtidos (Miara et all, 2017)	19
Figura 11 - Transferência de Calor (cima) e imagem térmica (baixo) de um radiador convencional (Kerrigan, Jouhara, O'Donnell, Robinson, 2013).....	22
Figura 12 - Temperatura vs Humidade Relativa do Ar (Coleman, 2001)	25
Figura 13 - Temperatura de Ponto de Orvalho para Portugal no dia 28/3/2019 (http://www.weather-climate.utad.pt/prev_porvalho/ - Acedido a 22/4/2019)	26
Figura 14 - Carga térmica de arrefecimento.....	33
Figura 15 - Planta do piso 0 da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)	44
Figura 16 - Planta do piso 1 da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)	44
Figura 17 - Planta da cobertura da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)	45
Figura 18 - Planta da habitação em estudo (Caso de Estudo 2)	47
Figura 19 - Planta da cobertura da habitação em estudo (Caso de Estudo 2)	48

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Primeiros resultados (Roy, Caird e Potter, 2010).....	17
Tabela 2 - Resultados eficiência (Dunbabin e Wickins, 2012)	17
Tabela 3 - Fonte Ar (Dunbabin e Wickins, 2012)	17
Tabela 4 - Produção de vapor de água numa casa (Coleman, 2001).....	28
Tabela 5 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit e compactas com permuta ar-água (Extraído de: Tabela I.12 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)	40
Tabela 6 - Rendimento nominal de caldeiras (Extraído de: Tabela I.16 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)	40
Tabela 7 - Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa (Extraído da Tabela I.19-B/2013 de 29 de novembro)	41
Tabela 8 - Área útil e pé-direito por divisão (Caso de Estudo 1)	45
Tabela 9 - Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Caso de Estudo 1)	46
Tabela 10 - Área útil e pé-direito por divisão (Caso de Estudo 2)	48
Tabela 11 - Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Caso de Estudo 2)	49
Tabela 12 - Resultados Obtidos (Caso de Estudo 1).....	52
Tabela 13 - Resultados obtidos caso a climatização da moradia seja feita exclusivamente pela bomba de calor (Caso de Estudo 1).....	52
Tabela 14 - Resultados Obtidos (Caso de Estudo 2).....	53
Tabela 15 - Resultados obtidos caso a climatização da moradia seja feita exclusivamente pela bomba de calor (Caso de Estudo 2).....	54
Tabela 16 - Custo da energia	55

Lista de Acrónimos

COP	Coefficient of Performance
SPF	Seasonal Performance Factor
EER	Rácio Eficiência Energética
ASHP	Air Source Heat Pump
GSHP	Ground Source Heat Pump
EST	Energy Saving Trust
ISE	Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
N_{ic}	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil de Aquecimento
N_i	Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil de Aquecimento definidas pelo REH
N_{vc}	Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil de Arrefecimento
N_v	Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil de Arrefecimento definidas pelo REH
N_{tc}	Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária
N_t	Valor Máximo para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária definidas pelo REH
AQS	Águas Quentes Sanitárias

1. Introdução

Nos dias de hoje a climatização de uma habitação é considerada uma parte crucial da sua constituição. O conceito de climatizar uma habitação define-se como ser capaz de controlar as condições ambientais desse espaço, sendo que as condições ambientais são a temperatura, a humidade, a qualidade do ar e a velocidade do ar.

O aquecimento de uma casa sempre foi considerado algo importante. Portugal sempre teve invernos rigorosos e assim foi necessário encontrar formas de aquecer uma casa. A tecnologia para aquecimento evolui bastante com o passar o tempo, o que começou como uma simples braseira ou uma lareira, hoje em dia são recuperadores de calor, salamandras, caldeiras, bombas de calor, entre outras. Para além da evolução a nível tecnológico, houve também uma evolução em termos de combustíveis. O combustível de eleição inicial foi a lenha, passou pelo gasóleo e o gás e agora usam-se as *pellets*.

Com o acentuar do aquecimento global temos assistido a verões cada vez mais quentes, e com isso passou a ser importante arranjar maneiras de arrefecer uma habitação. Existem já várias soluções, sendo a mais popular e conhecida o uso equipamentos de ar condicionado.

Nos dias de hoje, grande parte das pessoas passam muito tempo num ambiente interno. Por esse motivo, é importante que esse ambiente seja um ambiente saudável e confortável. Para isso, a renovação do ar, o aquecimento e o arrefecimento precisam de ser adicionados a qualquer sala com ocupantes de forma a não causar qualquer desconforto provocado por correntes de ar, gradientes de temperatura ou distribuição de temperatura radiante assimétrica.

Para tal é preciso fazer o balanço energético de uma casa, assim sabe-se qual a quantidade de calor que é retirado de uma casa e a quantidade de calor que lhe é adicionada. Assim, “o balanço energético de um edifício contabiliza as energias que entram e saem na operação da sua estrutura, para utilização dos espaços interiores e no exterior à sua volta, a fim de os humanos fazerem o melhor aproveitamento da respetiva construção.” (Ramos, 2007). Assim, para a realização de um balanço energético de uma habitação é necessário ter em conta os ganhos de calor relativos à energia solar e à ocupação interna, as perdas e os ganhos por infiltrações e por condução através da envolvente, a energia fornecida para aquecimento/arrefecimento, entre outros fatores, como a inércia térmica da construção.

O conforto térmico também é um parâmetro importante. Este pode ser definido como a sensação de bem-estar relativamente à temperatura do ambiente onde estamos inseridos, dependendo do equilíbrio entre o calor produzido e as perdas de calor para o meio ambiente. Assim, o conforto térmico não está apenas relacionado com a temperatura do ar, mas este leva em conta outros fatores, que vão desde fatores ambientais a pessoais, tais como a temperatura ambiente, a velocidade do ar, a humidade, o isolamento do vestuário e calor metabólico (Dufrio Refrigeração, 2017).

O conforto térmico é importante para o ser humano, a não existência dele faz com que as pessoas se irrite com mais facilidade e se sintam mais cansadas. Uma exposição excessiva ao frio causa tremores involuntários no corpo de modo a aquecê-lo. Por outro lado, uma exposição excessiva ao calor pode causar sintomas como irritação e falta de disposição (Dufrio Refrigeração, 2017).

Assim, pelos motivos já descritos acima é importante garantir o conforto do ser humano. O conforto irá afetar não só a saúde do ser humano como também irá afetar a sua produtividade.

1.1. Descrição do Problema

Apesar de grande parte das casas mais recentes já terem uma pré-instalação de ar condicionado, tendo assim a possibilidade de fazer a instalação de um sistema de arrefecimento, as casas mais antigas não têm essa pré-instalação, pelo que fazer a instalação de um sistema de ar condicionado de raiz para arrefecer uma casa na sua totalidade ou algumas divisões torna-se bastante caro.

Em contraste, a maioria das casas já construídas possuem um sistema de aquecimento central. Com isso em mente, pretende-se fazer um estudo acerca da viabilidade da adaptação deste sistema de aquecimento central de modo a que este seja capaz de efetuar também o arrefecimento.

1.1.1. Problemas Encontrados

Para fazer a implementação de um sistema de arrefecimento utilizando o sistema central já existente na casa é necessário realizar algumas alterações a este. Estas alterações passam por substituir os radiadores, visto que apesar destes conseguirem distribuir o calor de forma aceitável, não o conseguem fazer com o frio. É necessário a existência de um 'depósito frio', de modo a ter uma fonte fria para fazer a distribuição de frio para a habitação. Por último, é necessário fazer o estudo do fluido a ser utilizado no sistema, este costuma ser água, mas dependendo das temperaturas a que o sistema vai trabalhar, poderá haver problemas de solidificação.

1.1.2. Soluções Propostas

Para os problemas acima mencionados, é necessário encontrarem-se soluções no sentido de viabilizar o sistema conjunto de produção/distribuição de frio/calor. Assim, as soluções propostas para os problemas acima mencionados passam pela substituição dos radiadores por ventiloconectores, estes são capazes de distribuir tanto o calor como o frio. Para arrefecer o depósito irá ser utilizada uma bomba de calor ar-água que é capaz de produzir tanto calor como frio. Em relação ao fluido, é proposto o uso de anticongelantes para que não existam os problemas com a solidificação da água utilizada no sistema de aquecimento.

1.2. Objetivos

O objetivo desta dissertação é fazer o estudo de como adaptar o sistema de aquecimento central existente em grande parte das casas num sistema que funcione também com arrefecimento e estudar a sua viabilidade de implementação numa situação real.

Este objetivo envolve o seguinte plano de trabalho:

- Estudo das tecnologias existente;
- Estudo dos elementos principais envolvidos (bomba de calor ar-água e ventiloconectores);
- Estudo do fluido a ser utilizado no sistema hidráulico;
- Determinação das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento, arrefecimento e de energia primária;
- Análise económica;
- Avaliação dos resultados e conclusões.

2. Tecnologias Existentes

Existem várias técnicas e tecnologias capazes de fazer aquecimento e/ou arrefecimento de uma casa, estas técnicas podem ser passivas ou ativas. As técnicas passivas passam por abrir janelas, para gerar correntes de ar dentro da habitação, aquando da construção da habitação ter em conta a sua orientação para o sol, horas de iluminação natural, entre outras.

Como o tema do trabalho está focado no arrefecimento de uma habitação na sua totalidade, ou seja, um sistema de distribuição central, iremos apenas fazer uma revisão das tecnologias existentes que estejam de acordo com as características do tema, ou seja, o sistema tem de ser capaz de aquecer ou arrefecer uma casa na sua totalidade através de um sistema central de distribuição de calor ou frio. Assim, os sistemas ativos de aquecimento e arrefecimento irão ser explorados nos seguintes subcapítulos.

2.1. Sistemas de Aquecimento

Nos dias de hoje já existe uma grande variedade de sistemas que são capazes de aquecer uma casa na sua totalidade. Os sistemas mais utilizados são os recuperadores de calor e as caldeiras, sendo o combustível de eleição nos últimos anos, a lenha e as *pellets*.

Os recuperadores de calor são semelhantes às lareiras tradicionais, tanto no aspeto estético como dos combustíveis que usam, só que eles apresentam rendimentos maiores, passando dos 25% de uma típica lareira para 70% a 80% de aproveitamento de calor, uma vez que a combustão dos materiais é utilizada para conceber calor, que depois irá ser recuperado a fim de ser reutilizado.

A caldeira é um permutador de calor que, trabalhando com pressão superior à pressão atmosférica, pode ou não produzir vapor, a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer. É constituída por diversos equipamentos integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível e maior segurança (Faria, 2015). Esta definição abrange todos os tipos de caldeiras, sejam as que vaporizem água, mercúrio ou outros fluidos e que utilizam qualquer tipo de energia. Por ser bastante mais vantajoso em termos de condução e menores emissões de poluentes, o combustível gasoso é o mais comum. Existem vários tipos de caldeiras, nomeadamente as caldeiras fogotubulares, caldeiras aquotubulares e caldeiras a vapor e condensado.

Nas caldeiras fogotubulares, os gases de combustão passam no interior dos tubos com água na parte externa destes. Ou seja, o fogo, ou gases de combustão, são canalizados através de tubos que estão envolvidos pelo fluido a ser aquecido, que normalmente é a água. Numa caldeira

aquotubular, a água está dentro dos tubos e os gases de combustão passam do lado de fora destes.

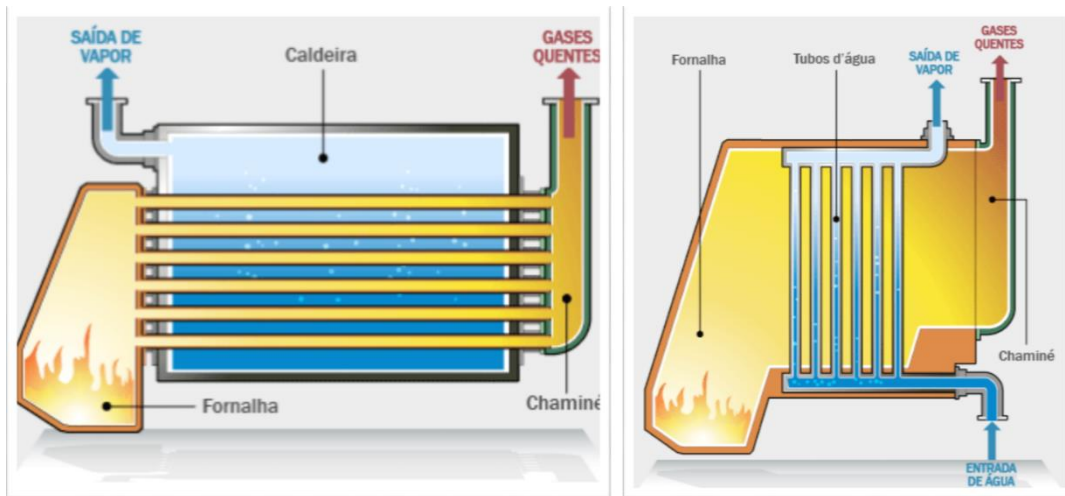


Figura 1 - Caldeira Fogotubular (esquerda) e Caldeira Aquotubular (direita)

As caldeiras a vapor e condensado são geralmente usadas para fornecer uma fonte de vapor ou água quente para as necessidades de aquecimento. Nos sistemas de vapor e condensado, o calor é adicionado à água numa caldeira, fazendo com que a água ferva e forme vapor. À medida que o calor é transferido do vapor, forma-se o condensado. Em aplicações de aquecimento em instalações comuns, o sistema de condensado está à pressão atmosférica e o este está preparado para escoar o condensado para um recetor central ou para recetores menores locais que bombeiam o condensado de volta para o recetor central.

2.2. Sistemas de Arrefecimento

O sistema de arrefecimento usado tipicamente é o ar condicionado. Um ar condicionado é em tudo semelhante a uma bomba de calor. Um ar condicionado usa a evaporação de um fluido frigorífero para fornecer ar frio. Os mecanismos do ciclo de refrigeração são os mesmos de um frigorífico.

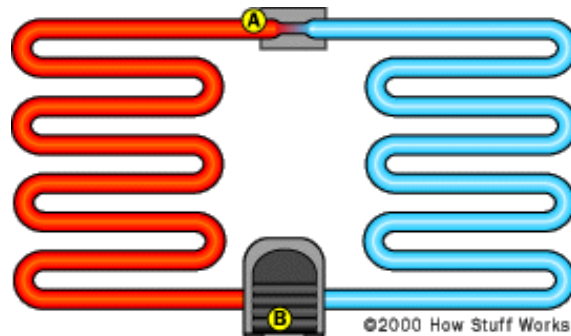


Figura 2 - Ciclo de refrigeração de Ar Condicionado

O ciclo de refrigeração do ar condicionado funciona da seguinte forma: o compressor comprime o gás frio, fazendo com que este se torne um gás quente a alta pressão. Este gás quente circula através de um permutador de calor para dissipar o calor, fazendo com que o gás condense, passando para o estado líquido. O líquido passa por uma válvula de expansão e no processo ele vaporiza tornando-se um gás frio a baixa pressão. Este gás frio passa pelo permutador de calor, e aí o gás irá absorver calor e arrefecer o ar da divisão. Apesar do ar condicionado ser mais conhecido por fazer frio, eles também podem ser usados para aquecer o ambiente.

2.3. Sistemas de Aquecimento e Arrefecimento

Existem poucos sistemas que conseguem fazer tanto o aquecimento como o arrefecimento de uma habitação. Este sistema passa por uma bomba de calor, onde se pode incluir o ar condicionado. Assim, de seguida irá ser feito um breve estudo do que é uma bomba de calor.

Uma bomba de calor é um dispositivo que transfere calor de uma fonte mais fria para uma fonte mais quente, com o auxílio de uma fonte externa de energia (Gagneja & Pundhir, 2016). De acordo com a segunda lei da termodinâmica, o calor não pode ser transferido espontaneamente de uma localização fria para uma localização mais quente sem que haja trabalho de uma fonte externa de energia (Staffell, 2012). Esta transferência de calor é realizada por um ciclo termodinâmico denominado por ciclo de compressão de vapor, originário do ciclo frigorífico de Carnot.

Os sistemas baseados no ciclo de Carnot são dos mais utilizados devido à sua simplicidade e facilidade de construção. As transferências de calor do ciclo são garantidas pela compressão e expansão do fluido frigorífero, este irá sofrer uma série de processos para que a sua temperatura e pressão desçam o suficiente de maneira a extrair calor de um fluido, para posteriormente cedê-lo a outro fluido, que se encontra a uma temperatura e pressão mais elevadas (Ferreira, 2009).

A termodinâmica define o ciclo de Carnot como sendo o ciclo mais eficiente para trabalhar entre duas dadas temperaturas. Na figura 3 podemos ver como é constituído o ciclo de Carnot, e a figura 4 ilustra as suas fases, sendo elas:

- 4-3: compressão adiabática reversível;
- 3-2: transferência de calor isotérmica;
- 2-1: expansão adiabática reversível;
- 1-4: transferência de calor isotérmica.

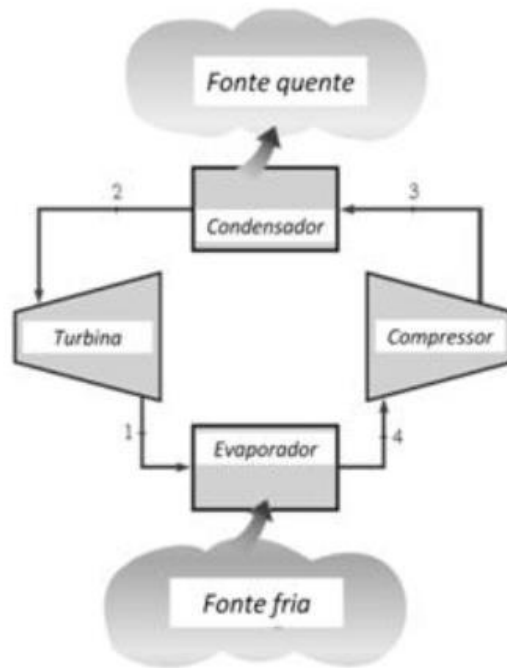


Figura 3 - Ciclo de Carnot

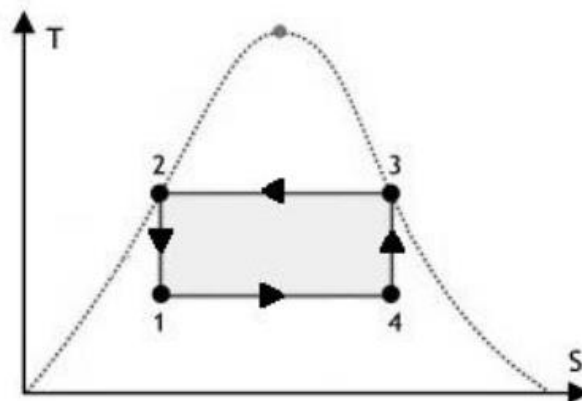


Figura 4 - Gráfico Temperatura - Entropia (T-s) do ciclo de Carnot

No ciclo frigorífico de Carnot, o fluido a baixa pressão recebe calor de uma fonte fria, este irá entrar no compressor que irá aumentar a pressão e, conseqüentemente, aumentar a sua temperatura. De seguida, o fluido irá ceder o excesso de calor quando passar pela turbina, voltando à temperatura e pressão iniciais (Ferreira, 2009).

Apesar de o ciclo de Carnot ser o mais indicado, este é apenas um ciclo teórico, a sua implementação é difícil. No entanto pode ser aproximada, essa aproximação é feita através do ciclo de compressão de vapor, demonstrado na figura 5.

Um dos problemas existentes no ciclo de Carnot é as transferências de calor isotérmicas que são de difícil execução, por isso, estas são substituídas por transferências de calor isobáricas.

A expansão na turbina acontece com um fluido com duas fases, o que cria problemas na resistência dos materiais e na lubrificação. O trabalho obtido no funcionamento da turbina é reduzido em relação ao trabalho necessário para acionar o compressor, que na prática é resolvido pela sua substituição por uma válvula de expansão.

Durante a compressão também a presença da fase líquida levanta questões, na integridade e funcionamento do compressor. Assim, é utilizada uma compressão seca. Para produzir a compressão seca no compressor, o fluido terá de ser sobreaquecido antes de entrar neste. Este sobreaquecimento irá aumentar o volume específico do fluido, fazendo com que o compressor tenha de ter maiores dimensões.

Apesar das alterações relativamente ao ciclo de Carnot, as principais etapas do ciclo de compressão de vapor são idênticas variando apenas as condições em que se realizam.

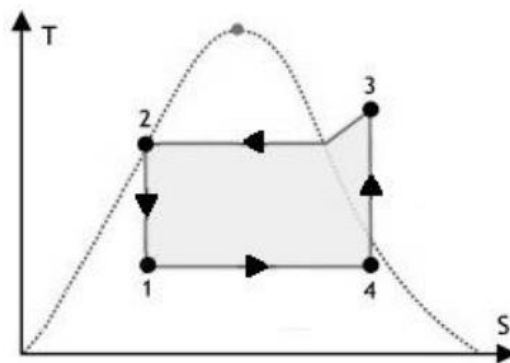


Figura 5 - Gráfico Temperatura - Entropia (T-s) do ciclo de compressão de vapor

Uma bomba de calor por compressão de vapor é assim considerada como uma máquina energeticamente eficiente, pois comparativamente, o input de energia elétrica é mais baixo que o output da energia transferida para o ambiente a aquecer. As bombas de calor apresentam uma alta eficiência, isto acontece, pois, elas apenas transferem calor, não precisam de queimar combustível para o criar (Gagneja & Pundhir, 2016).

As instalações com bombas de calor podem ser utilizadas não só para aquecer, mas também para arrefecer. Com esse intuito são utilizadas bombas de calor reversíveis, ou seja, são bombas de calor que permitem inverter o sentido de circulação do fluido frigorigéneo (Marco e Mario Doninelli, 2009). Assim, trocam-se as funções dos permutadores de calor, ou seja, irão retirar o calor de dentro de casa e expulsá-lo para o ambiente.

As bombas de calor podem ter diferentes fontes de calor, como por exemplo o ar ambiente, águas subterrâneas ou uma fonte geotérmica. Estas são denominadas pela fonte de calor e o tipo de fluido a que cedem o calor.

2.4. Sistemas de Distribuição de Calor e Frio

Visto que o objetivo da dissertação é estudar a adaptabilidade de um sistema de aquecimento para que seja capaz de distribuir frio, irá ser feito um pequeno estudo acerca das tecnologias existentes que são capazes de distribuir não só o calor assim como o frio.

2.4.1. Piso Radiante

O sistema de piso radiante pode parecer um sistema de aquecimento muito moderno, mas a ideia remonta à época romana, nessa época eram utilizadas águas e vapores quentes dos fornos da casa, que eram postos a circular por baixo do chão e no interior das paredes desta. Assim, o sistema de piso radiante consiste na instalação de um sistema de aquecimento ou arrefecimento sob o soalho.

Existem vários tipos de piso radiante, ele pode ser hidráulico, a ar ou elétrico. O sistema de piso radiante hidráulico para além de ser necessário instalar as tubagens debaixo do chão, ele implica uma alimentação do fluido que irá transportar o calor ou o frio. O sistema de piso radiante a ar consiste em colocar condutas sob o chão e nestas fazer circular o ar que foi aquecido ou arrefecido noutra local. O sistema de piso radiante elétrico consiste em colocar resistências elétricas sob o chão, sendo alimentadas por eletricidade. O sistema de piso radiante elétrico apenas é capaz de fazer aquecimento. De referir que independentemente do tipo de piso radiante escolhido, é preciso ter em atenção o pavimento a ser escolhido, isto pois, ele deverá ser capaz de suportar este tipo de aquecimento ou arrefecimento.

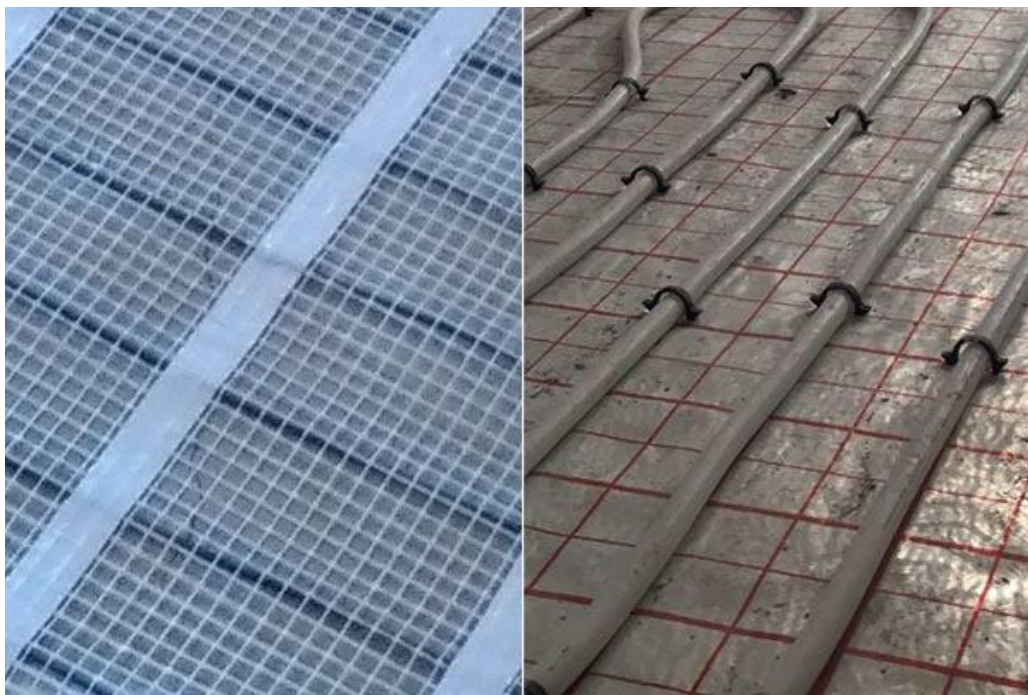


Figura 6 - Piso Radiante Elétrico (esquerda) e Hidráulico (direita)

Os painéis hidráulicos podem receber fluido a partir de praticamente qualquer fonte projetada para o arrefecimento ou aquecimento de água, como bombas de calor ou caldeiras (Watson, 2002). Por esse motivo, é este tipo de piso radiante que interessa para o tema da dissertação, isto pois pretende-se realizar o aquecimento ou o arrefecimento, utilizando uma bomba de calor para arrefecer ou aquecer o fluido de distribuição de calor.

O piso radiante funciona de forma parecida a um radiador que transfere o calor para o pavimento e depois para as pessoas e os objetos que se encontram no espaço aquecido. O sistema de piso radiante pode ser disposto de diferentes formas, como em serpentina ou em espiral, ou o misto dos dois.

Este tipo de sistema tem as seguintes vantagens: a eficiência deste tipo de piso é maior porque a percentagem de perdas de calor pelas paredes e pelo teto é menor. Assim, os gastos energéticos serão menores visto que as perdas energéticas são inferiores. Ele é capaz de trabalhar com temperaturas relativamente baixas. É capaz de proporcionar um maior conforto pois consegue fazer um aquecimento uniforme em toda a divisão, e não localizado num ponto como acontece com os radiadores. Proporciona maior liberdade estética e espacial pois o sistema de aquecimento está dentro do pavimento.

No lado das desvantagens temos sobretudo o preço e o facto deste tipo de sistemas requererem tempos de aquecimento significativos. Visto que o sistema se encontra sob o chão, isso vem a dificultar qualquer tipo de reparação ou substituição que venha a ser necessária. Para além disso é um sistema complicado de instalar em casas já contruídas, isto pois o piso radiante hidráulico necessita de acomodar a canalização da água, o que resulta na necessidade de subir os pavimentos em pelo menos 5 cm. Mesmo no caso do piso elétrico, este necessita de elevar o chão em pelo menos 3 cm. O custo inicial para o piso hidráulico torna-se mais elevado.

Apesar de todas as vantagens que este sistema tem, as desvantagens têm um grande peso aquando da sua escolha, para além de ser um sistema caro, também é difícil de aplicar em habitações já contruídas, para além de que elevar o nível do piso, o que não é algo que os proprietários querem para a sua habitação. Assim, a ideia de aplicar ventiloconvectores torna-se muito mais desejável, isto pois são de fácil aplicação. Não requerem mudanças estruturais na casa, eles podem simplesmente tomar o lugar do radiador, aproveitando os tubos deste e apenas precisando de uma fonte de eletricidade. Os ventiloconvectores também têm como vantagem sobre o piso radiante uma resposta mais rápida a solicitações de mudanças de temperaturas.

2.4.2. Ventiloinvector

Os ventiloinectores s3o difusores de calor utilizados para climatizar espaços interiores. Eles s3o tipicamente e tradicionalmente utilizados para distribuir calor. Apesar de serem mais usados para distribuir calor, eles teoricamente s3o capazes de distribuir tanto calor como frio, para isso basta fazer circular 3gua quente ou 3gua fria no interior deste, 3gua que prov3m do sistema de climatizaç3o central. Eles permitem regular a temperatura, conforme o desejo do utilizador e, como operam com 3gua a baixa temperatura, apresentam n3veis de consumo energ3tico inferiores aos dos radiadores tradicionais. Um ventiloinvector 3 constitu3do por um ventilador e um permutador de calor (formado por alhetas de alum3nio com tubos de cobre), ele 3 conectado ao sistema de climatizaç3o central da habitaç3o.



Figura 7 - Ventiloinvector de Parede

Existem ventiloinectores que podem operar em modo autom3tico, ou seja, ele ajusta automaticamente a velocidade do ventilador, otimizando o consumo de energia. Apesar disso, eles tamb3m podem operar num modo manual, ou seja, o utilizador pode definir a velocidade do ventilador como alta, m3dia ou baixa.

Uma preocupaç3o habitual acerca da utilizaç3o de ventiloinectores diz respeito ao ru3do emitido por estes. Inicialmente eles poderiam ser ruidosos, mas a tecnologia foi evoluindo, os fabricantes afirmam que eles produzem menos 1-2dB do que um motor. Eles produzem uma m3dia de 40dB. Podem operar com uma velocidade mais baixa, o que ir3 resultar numa diminuiç3o do ru3do produzido.

Existem diferentes tipos de ventiloinectores, eles podem ser de teto, de parede ou de ch3o. Eles podem ser embutidos nas paredes, no teto ou no ch3o, se o utilizador o desejar.

3. Estudo dos Elementos Principais

Envolvidos

O sistema convencional de distribuição de calor consiste numa fonte de calor, sendo uma caldeira ou um recuperador, e um dispositivo para distribuir o calor para a casa, os radiadores. Assim, a adaptação a fazer no sistema é substituir a fonte de calor ou adicionar ao sistema uma bomba de calor ar-água, e substituir os radiadores por ventiloconvectores. O estudo destes elementos irá ser feito nos subcapítulos seguintes.

Acerca da bomba de calor, foi escolhida uma bomba de calor ar-água, pois são as mais versáteis de se instalar. As bombas de calor geotérmicas água-água são as que apresentam eficiências térmicas mais elevadas e uma vida útil mais longa, mas não são uma solução universal para todos os edifícios. A logística e os custos de instalação dos coletores geotérmicos são caros. A instalação destes tem de ter em consideração a área de terreno necessário, a composição do solo, entre outros. Em alguns locais não é prático nem economicamente viável ou nem mesmo legal fazer tal instalação.

3.1. Bomba de Calor Ar-Água

As bombas de calor são uma tecnologia promissora tanto para o aquecimento como para o arrefecimento de edifícios domésticos que tem eficiências maiores quando comparadas com as tecnologias de combustão de combustíveis fósseis.

As bombas de calor são normalmente encontradas em frigoríficos e unidades de ar condicionado. Em ambos os casos, utilizam eletricidade para remover calor de uma zona fria para uma zona mais quente. Elas também são capazes de produzir calor, operando de forma inversa.

A bomba de calor ar-água tem a vantagem de utilizar uma unidade externa de pequenas dimensões, pelo que, como ocupam pouco espaço, podem ser instaladas em casas já construídas e em zonas urbanas sem que existam grandes problemas. Os sistemas de ar-água podem ser integrados no sistema central e podem efetuar o aquecimento e o arrefecimento de uma casa, assim como produzir águas quentes sanitárias.

Um dos grandes problemas existentes é que as bombas de calor costumam estar subdimensionadas relativamente ao pico de procura de calor de uma habitação, isto faz com que o custo inicial da bomba de calor seja menor, só que tem como consequência uma maior utilização. Assim, a bomba de calor irá precisar de um fornecedor de calor secundário nos dias

mais frios do ano. Por esse motivo, a escolha correta da bomba de calor é importante para maximizar a sua eficiência.

Um dos problemas que pode acontecer com este tipo de bomba de calor é a formação de gelo no permutador de calor externo, isto pode acontecer quando a temperatura do ar se encontra abaixo dos 5 °C. Com a formação de gelo no permutador, é necessário fazer ciclos de descongelamento nos dias em que isto acontece. Uma das soluções para o ciclo de descongelamento consiste em inverter o sentido do fluxo do fluido frigorigéneo, retirando o calor dentro de casa para derreter o gelo no permutador, só que isso significa que os habitantes da casa podem sentir uma corrente fria durante o processo. Uma outra solução é a utilização de uma resistência elétrica para derreter o gelo, só que isso irá significar um aumento do consumo de energia.

Pela razão referida acima, se a temperatura do ar externo descer abaixo dos 5 °C, os fatores de rendimento, e por consequência, a potência disponível da bomba de calor diminui consideravelmente. Relativamente a este limite, podem adotar-se os seguintes tipos de instalação:

- 1) Instalação monovalente - a necessidade térmica é dada apenas pela bomba de calor. São instalações que se podem aplicar em zonas com temperaturas externas de trabalho superiores a 5 °C (Marco e Mario Doninelli, 2009).
- 2) Instalação mono energética - a necessidade térmica é dada por uma bomba de calor e uma resistência elétrica. São instalações que se podem aplicar em zonas com temperaturas externas de trabalho superiores a 2 °C (Marco e Mario Doninelli, 2009).
- 3) Instalação bivalente - a necessidade térmica é dada pela bomba de calor e por uma caldeira de suporte. São instalações que se podem aplicar em zonas com temperaturas externas de trabalho inferiores a 2 °C. A caldeira é regulada de forma a intervir apenas quando a temperatura do ar externo descer abaixo dos 5 °C. Quando a caldeira é ativada, a bomba de calor deve ser desativada de modo a evitar que esta trabalhe com um rendimento demasiado baixo (Marco e Mario Doninelli, 2009).

As bombas de calor têm uma vida útil superior às caldeiras, tendo uma maior confiabilidade e uma manutenção mínima. O compressor é o componente mais complexo e caro de substituir, sendo que este tem uma vida útil de 15 a 25 anos.

Para medir o desempenho de uma bomba de calor é usado o COP (Coefficient of Performance). A expressão do COP (1) é dada pelo calor gerado, em Watts, a dividir pela energia consumida, em Watts. Ou seja, um COP de 3 significa que foram produzidas 3 unidades de calor por cada unidade de energia consumida.

$$\text{COP} = Q_{\text{BC}}(\text{W}) / E_{\text{BC}}(\text{W}) \quad (1)$$

O SPF (Seasonal Performance Factor) é um tipo diferente de medição que representa a eficiência média anual numa dada localização, baseada nas temperaturas exteriores ao longo do ano. Ele é dado pela expressão (2)

$$\text{SPF} = (Q_{\text{BC}}(\text{W}) + Q_{\text{aux}}(\text{W})) / (E_{\text{BC}}(\text{W}) + E_{\text{aux}}(\text{W}) + E_{\text{fan}}(\text{W}) + E_{\text{frost}}(\text{W})) \quad (2)$$

Outro parâmetro utilizado para saber a eficiência das bombas de calor é o EER (rácio de eficiência energética), ele é o rácio entre o *output* de frio (em BTU) e o *input* de energia elétrica (em Watts-hora). Ele é dado pela expressão (3) e pode ser convertido para COP com a expressão (4):

$$\text{EER} = Q_{\text{BC}}(\text{BTU}) / E_{\text{BC}}(\text{Wh}) \quad (3)$$

$$\text{EER} = (3600(\text{J/Wh}) / 1055,06(\text{J/BTU})) \times \text{COP} = 3,41213 \times \text{COP} \quad (4)$$

A eficiência de uma bomba de calor está altamente dependente do '*lift*', o *lift* é a diferença de temperatura entre o permutador de calor externo e a temperatura de *output* para a habitação. Na prática, o COP diminui entre 0,6 a 1,0 para cada 10 °C de diferença, ou seja, menos 0,6 a 1,0 kW de *output* de calor por cada kW de *input* de energia. Assim, para maximizar a sua eficiência, a diferença entre estas temperaturas deve ser a menor possível, e, portanto, um *loop* de aquecimento relativamente frio e um *loop* externo relativamente quente são os mais desejáveis. A primeira condição pode ser melhorada usando uma área grande de emissores térmicos ou ventiloconvectores ou piso radiante, isto pois, aumentando a área pela qual o calor é irradiado, faz com que se possa usar temperaturas de água mais baixas para o aquecimento. A segunda condição é um passo atrás das ASHP relativamente às GSHP. A maior procura de calor ocorre no inverno, quando as temperaturas do ar são mais baixas. As ASHP têm de gastar mais energia para deslocar o ar através do permutador de calor, e assim, usar mais eletricidade por unidade de saída de calor sob quaisquer condições.

Os números apresentados para o COP parecem bem no papel, contudo, uma queixa comum é que na realidade elas não funcionam assim tão bem, consumindo mais eletricidade do que a esperada. Com isso em mente, foram realizados vários testes de campo em todo o mundo para estudar os valores de SPF para as unidades de bomba de calor, quando operadas numa casa real.

A *Energy Saving Trust* (EST) monitorizou 83 bombas de calor em propriedades residenciais no Reino Unido entre abril de 2009 e abril de 2010. Eles descobriram que, embora os sistemas com melhor desempenho tenham valores de SPF de 3,2, a maioria dos sistemas “tem um desempenho tão mau que não se qualificaria como energia renovável ao abrigo das propostas de normas europeias”. No Reino Unido, as bombas de calor com fonte de ar têm um SPF médio na faixa entre os 1,5 e 2,1.

Os resultados obtidos no Reino Unido são inferiores aos resultados obtidos noutros testes realizados na Europa. As razões apresentadas pela EST para estes resultados são que as residências britânicas são antigas e mal isoladas, e que o clima britânico tende a ser frio e húmido. Para além destes fatores, o desempenho da bomba de calor é afetado pelos sistemas de aquecimento existentes nas casas, pelo comportamento dos utilizadores das bombas de calor e pela qualidade das instalações (Roy, Caird e Potter, 2010).

Embora cada casa seja única, foi demonstrado que uma bomba de calor com um bom desempenho pode apresentar um coeficiente de eficiência (COP) de pelo menos 3,0. Aproximadamente 13% de todos os locais estudados obtiveram eficiências superiores a 3,0 (Roy, Caird e Potter, 2010).

Os lugares com pior desempenho que foram monitorizados demonstraram a necessidade de os clientes comprarem a bomba de calor apropriada para a sua propriedade e para o seu estilo de vida. Os fabricantes e instaladores também devem ter cuidado para garantir que as bombas de calor sejam especificadas e instaladas adequadamente.

Um primeiro relatório lançado em 2010 apresentou os seguintes resultados (Fig. 8):

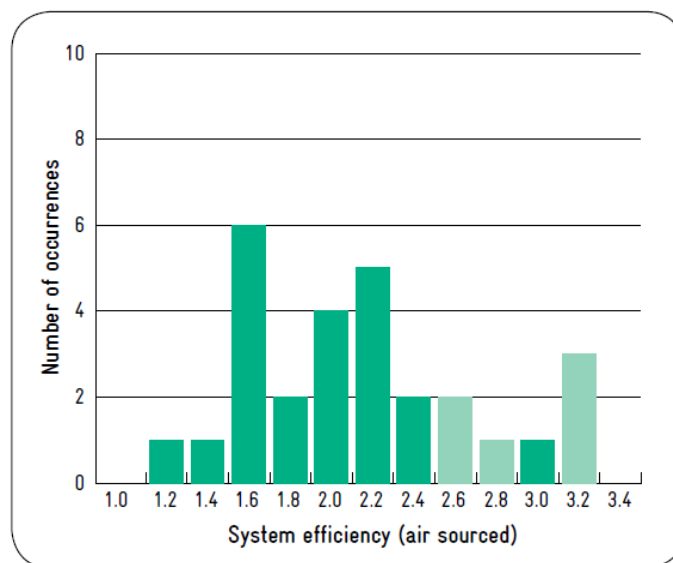


Figura 8 - Eficiência vs Número de Ocorrências (Roy, Caird e Potter, 2010)

Como é visível no histograma acima, os valores de desempenho monitorizados nas bombas de calor variam bastante. O maior número de ocorrências acontece para uma eficiência de 1,6. Isto demonstra que as bombas de calor monitorizadas no Reino Unido não estão bem dimensionadas, isto contrasta com os sistemas com melhor desempenho, o que mostra que quando as bombas de calor são bem projetadas e instaladas, elas podem operar bem no Reino Unido.

Tabela 1 - Primeiros resultados (Roy, Caird e Potter, 2010)

Fonte	COP da Bomba de Calor		Eficiência do Sistema	
	Ar	Geotérmica	Ar	Geotérmica
Alcance	1,2 - 3,3	1,3 - 3,6	1,2 - 3,2	1,3 - 3,3

Como é visível na tabela acima, as bombas de calor geotérmicas apresentam melhores resultados do que as bombas de calor com fonte de ar. A média da eficiência para as bombas de calor com fonte de ar está nos 2,2.

Posteriormente, a EST lançou um outro relatório, mais detalhado, em 2012. Neste relatório foram apresentados os seguintes resultados:

Tabela 2 - Resultados eficiência (Dunbabin e Wickins, 2012)

Eficiência do Sistema	Fonte Ar	Fonte Geotérmica
Número Unidades	22	49
Média	1,82	2,39
Desvio Padrão	0,28	0,45
Erro Médio	0,06	0,06
Mediana	1,83	2,31
Mode	1,6	2,2

O número de sistemas com bomba de calor com fonte de ar estudados é demasiado baixo para que se possam retirar conclusões. Foram apenas estudados vinte e dois sistemas com este tipo de bomba de calor, dezassete destes utilizam radiadores e cinco têm sistema de piso radiante. É possível ver os resultados obtidos para estes sistemas na tabela abaixo.

Tabela 3 - Fonte Ar (Dunbabin e Wickins, 2012)

	Aquecimento com radiadores	Aquecimento com piso radiante
Número de Unidades	17	5
Média	1,82	1,86
Desvio Padrão	Amostra demasiado pequena	
Erro Médio	Amostra demasiado pequena	
Mediana	1,81	1,85
Mode	1,6	1,6
Alcance	1,2 - 2,2	1,4 - 2,2

A Figura 9 e a Tabela 3 mostram a eficiência do sistema das bombas de calor de fonte de ar em função do tipo de emissor usado na habitação.

Como os dados são tão poucos, não é possível ver uma tendência nos dados obtidos. Como existem apenas dezassete sistemas com radiadores e cinco com aquecimento com piso radiante,

não é possível determinar dados estatísticos confiáveis para o desempenho do sistema. Em particular, o tamanho da amostra é demasiado pequeno para conseguir calcular o erro padrão com confiança.

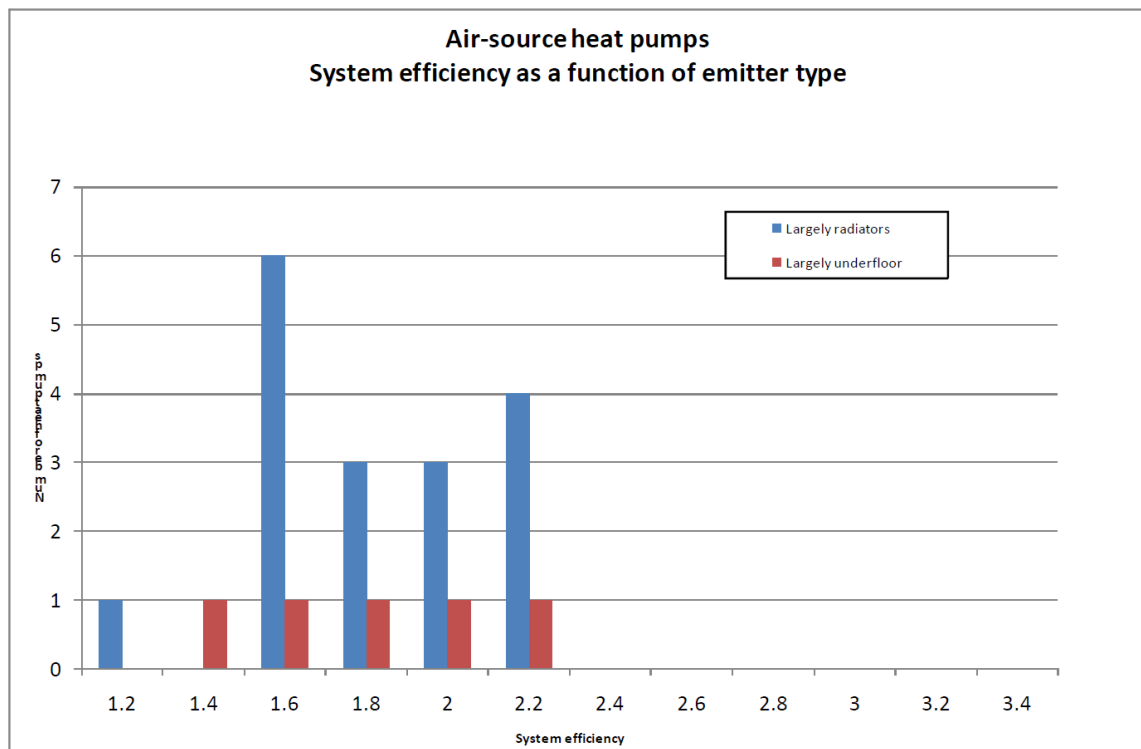


Figura 9 - Eficiência do Sistema vs Número de Bombas de Calor (Dunbabin e Wickins, 2012)

Estes resultados contrastam com os dos ensaios em grande escala realizados na Alemanha. O *Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energia Solar (ISE)* conduziu três programas separados desde 2005, em cada um foram testadas cerca de 75 bombas de calor em condições semelhantes às dos ensaios realizados no Reino Unido. Os resultados obtidos para as ASHPs, mostram que estas atingiram níveis médios anuais de SPF de 2,6 no primeiro teste, 2,9 no segundo teste e 3,1 no terceiro. Isto significa que um sistema médio instalado e monitorizado na Alemanha consegue produzir mais kW de calor por kW de eletricidade do que um sistema similar a operar no Reino Unido.

Foi lançado um relatório em 2017, onde constam os resultados dos três testes realizados na Alemanha e as respetivas conclusões. Podemos ver os resultados na figura abaixo (Fig. 10):

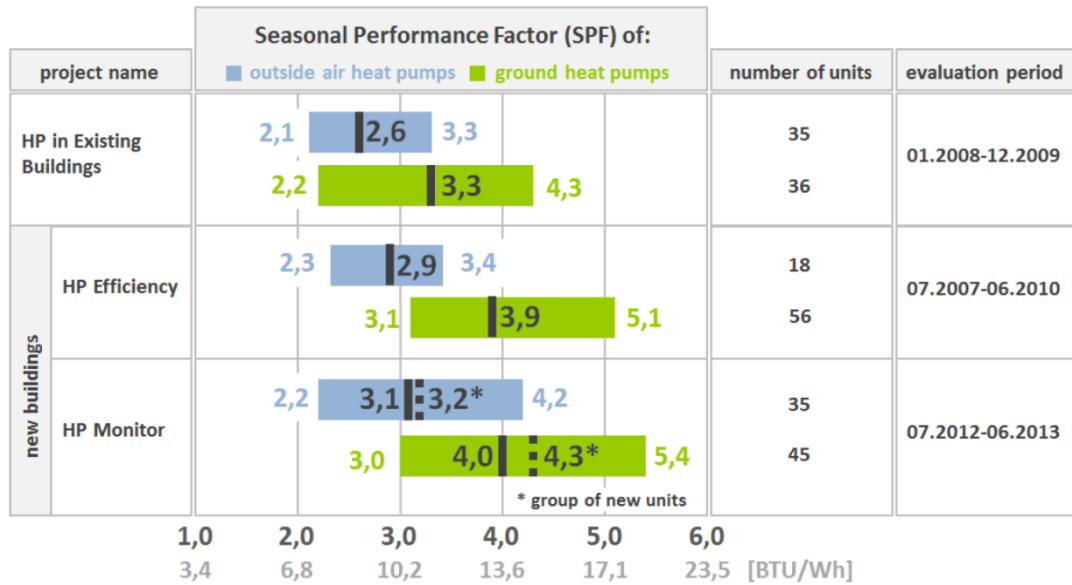


Figura 10 - Resultados obtidos (Miara et all, 2017)

Dos resultados apresentados é possível ver que a eficiência da tecnologia tem vindo a melhorar ao longo dos anos, sendo que no primeiro teste realizado a eficiência média era de 2,6 e agora, neste último teste, é de 3,2, para dispositivos novos. Apesar da eficiência média ter melhorado, a faixa de resultados obtidos é grande, pelo que o número de sistemas com eficiências más mantem-se, mas há cada vez mais sistemas com melhores eficiências.

A diferença entre as bombas de calor de fonte de ar e as bombas de calor geotérmicas é evidente, as bombas de calor geotérmicas têm um melhor desempenho. O solo como fonte de calor é mais benéfico do ponto de vista da sua temperatura nos períodos mais frios, quando há uma maior procura de calor, isto acontece, pois, o solo tende a ter uma temperatura estável ao longo do ano, enquanto a temperatura do ar varia bastante ao longo do ano. Assim, no inverno, por exemplo, podemos ter uma temperatura do solo em redor dos 12 °C e uma temperatura do ar de apenas 5 °C, isto irá se refletir na eficiência do sistema.

Outra diferença importante foi notada entre os edifícios mais antigos e os mais novos. Resulta principalmente do tipo de sistema de distribuição de calor usado. Os sistemas de piso radiante, usados principalmente nos edifícios mais novos, permitem temperaturas de fornecimento de calor mais baixas em comparação com sistemas com radiadores nos edifícios mais antigos. As temperaturas de fornecimento de calor mais baixas têm uma grande contribuição para que as bombas de calor tenham uma maior eficiência (Miara et all, 2017).

Os resultados de todos os projetos indicam menor intervalo de resultados para unidades individuais com bombas de calor com fonte de ar, em comparação com as bombas de calor geotérmicas. A ampla faixa de valores de SPF alcançada pelas bombas de calor geotérmicas

indica um elevado potencial de um funcionamento eficiente das bombas de calor geotérmicas. Por outro lado, demonstra que a escolha da fonte de calor não garante automaticamente uma alta eficiência. Erros no projeto, instalação e/ou execução do processo, resultam na diminuição da eficiência potencial e diminuem os benefícios económicos e ecológicos da fonte de calor teoricamente mais eficiente, mas ao mesmo tempo mais cara.

Assim, dos estudos realizados pode-se concluir que a principal diferença entre os dois países aparenta ser a adequação e a qualidade das instalações. A própria EST afirma que os sistemas estudados foram mal dimensionados para as habitações, estes foram configurados incorretamente e operados em modos sob otimizados. Estes problemas não são exclusivos do mercado do Reino Unido, a EST informa que metade das bombas de calor nos EUA sofrem com problemas com carga de fluido frigorífero, um mau fluxo de ar e fugas.

Em contraste, Fraunhofer concluiu que “uma eficiência muito boa pode ser alcançada se o planeamento e a instalação forem realizados cuidadosamente. A eficiência média das bombas de calor instaladas nos projetos Fraunhofer tem vindo a melhorar de ano para ano, o que pode ser o resultado dos efeitos de aprendizagem entre instaladores e utilizadores, à medida que a experiência e as melhores práticas se introduzem na indústria.

Tanto os fabricantes, como os projetistas, os instaladores e os utilizadores, têm papéis cruciais para garantir um bom desempenho do sistema: a qualidade da construção e os níveis de isolamento devem primeiro ser melhorados para reduzir a procura primária de calor; a capacidade instalada deve ser adaptada às exigências de calor da propriedade para evitar o uso excessivo de aquecedores e o ciclo excessivo de ligar e desligar; as bombas devem ser carregadas com a quantidade correta de fluido frigorífero e devem ser tomadas precauções para evitar a fuga deste; os circuitos de aquecimento devem ser ajustados à temperatura mínima confortável, e os utilizadores devem estar cientes das implicações de os elevar; algoritmos de controlo e modos operacionais devem ser otimizados para minimizar as perdas por parasitas e a necessidade de descongelar ASHPs.

Dada a disparidade entre os valores de COP publicados pelos fabricantes e os valores de SPF obtidos nos testes em ambiente real, é vital conseguir estimar o desempenho que deve ser esperado de um sistema específico instalado num determinado local. Ao longo dos anos foram desenvolvidos alguns softwares de modo a que consigam fazer uma estimativa. Uma outra maneira de conseguir estimar o desempenho anual da bomba de calor sem recorrer ao uso de um software, que pode ser complicado de aprender e usar, é a seguinte:

- 1) Compilar os valores do COP para uma dada bomba de calor juntamente com a diferença de temperatura entre a fonte e a saída;
- 2) Produzir uma regressão linear ou quadrática desses pontos, de modo que o COP possa ser estimado para um intervalo contínuo da diferença de temperatura;

- 3) Determinar a temperatura média de saída da bomba, com base na razão entre o aquecimento do espaço e a produção de água quente, e as temperaturas de saída necessárias para cada uma;
- 4) Determinar a temperatura média sazonal da fonte de calor, ponderada pela quantidade de procura de calor ao longo da estação;
- 5) Considerar para uso de um aquecedor de reserva (se presente);
- 6) Considerar a energia consumida durante os ciclos de descongelamento (para sistemas ASHP).

3.2. Ventiloconvector

Os ventiloconvectores são sistemas de climatização que têm por base o mesmo funcionamento que um sistema de ar condicionado, no entanto o fluido de trabalho, em vez de ser ar, é água ou fluido térmico.

Este distribui o calor de forma uniforme por toda a divisão utilizando a convecção forçada. Ele é constituído por um ventilador e um permutador de calor (formado por alhetas de alumínio com tubos de cobre) conectados ao sistema de climatização central da habitação. A água quente passa através do permutador de calor, sendo que o calor desta água quente é transferido para as alhetas de alumínio. O ar mais frio é ‘aspirado’ pelo ventilador e aquecido à medida que passa pelo permutador de calor antes de ser expelido de volta para a divisão (H&V, 2014).

Como a energia de calor/frio é transmitida para a habitação por intermédio de água ou fluido térmico, podem ser usadas todas as fontes de calor que se deseje, assim, tem a vantagem de se poder usar as fontes de calor mais económicas que existem.

Na maioria das habitações, o dispositivo utilizado para a distribuição do calor é o típico radiador. As soluções como os ventiloconvectores são tipicamente negligenciadas, independentemente de serem ou não a solução de aquecimento ideal para o local e cenário específico (H&V, 2014). Os radiadores convencionais não são bons quando usados com baixas temperaturas de aquecimento, como por exemplo as temperaturas dadas pela bomba de calor, que por norma são por volta dos 55 °C. Para transmitirem calor a esta temperatura os radiadores teriam de ser demasiado grandes. O típico output de um radiador é dado na figura 11. Assim, ele tem uma potência de 750 W para uma temperatura de operação de 80 °C, para uma temperatura de 55 °C, temperatura dada pela bomba de calor, o output reduz para aproximadamente 300 W, o que significa que seriam necessários dois radiadores para terem um desempenho semelhante ao anterior (Kerrigan, Jouhara, O’Donnell, Robinson, 2013).

Enquanto isso, os ventiloconvectores são capazes de operar eficientemente com temperaturas de água tão baixas como 35 °C.

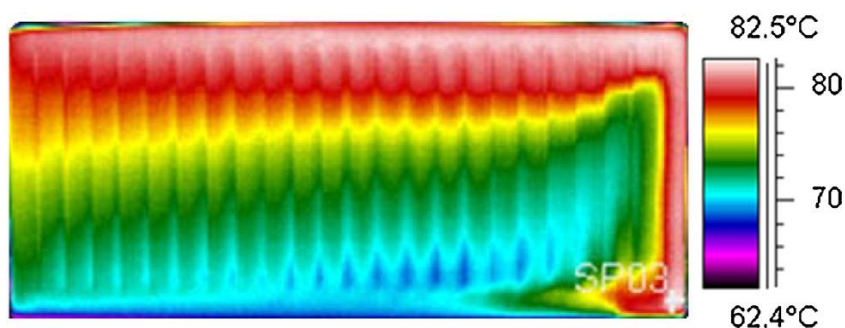
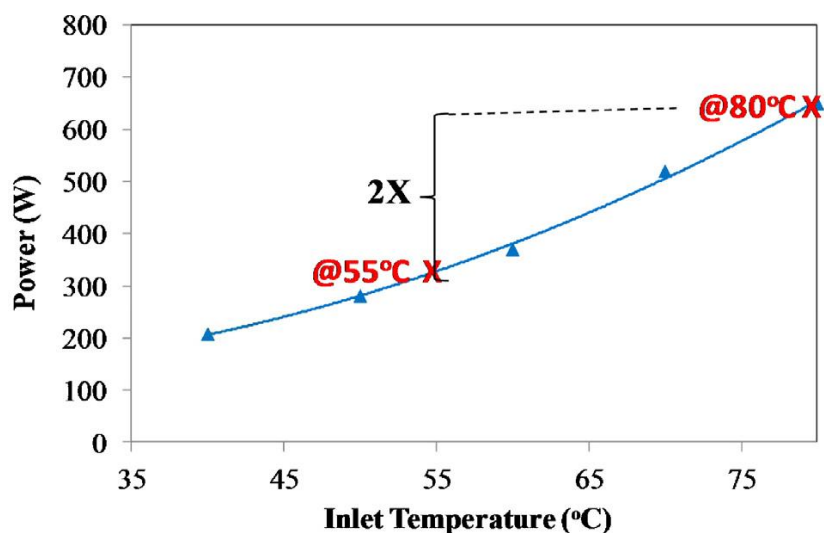


Figura 11 - Transferência de Calor (cima) e imagem térmica (baixo) de um radiador convencional (Kerrigan, Jouhara, O'Donnell, Robinson, 2013)

Os ventiloconvectores de água/fluido térmico são uma boa solução para fazer a climatização de uma habitação visto que a circulação forçada do ar garante uma maior eficiência e uma maior rapidez na transmissão do calor para o ar. Para além disso, os ventiloconvectores têm como vantagem o facto de operarem com menos água do que um radiador, eles usam apenas 5% da água utilizada por um radiador do mesmo tamanho, pelo que é necessário menos energia para aquecê-lo. Assim, os radiadores levam mais tempo para aquecerem, e, por consequente, também para arrefecerem. De referir que é difícil controlar a temperatura de um radiador, o único controlo que existe é a válvula à entrada deste, e ele perde 10% do calor pelas paredes. Os ventiloconvectores podem ser ligados e desligados de modo a fornecer calor de forma quase instantânea, estes utilizam ventilação forçada pelo que a direção do calor é controlada e igualmente distribuída pela divisão (H&V, 2014).

Os radiadores são muito quentes ao toque e os ventiloconvectores são, por definição, aparelhos de baixa temperatura de superfície e trabalho, o que vem a eliminar os riscos de ferimentos em locais onde superfícies quentes possam ser uma preocupação de segurança (H&V, 2014).

As opções preferidas para um sistema de aquecimento a baixa temperatura são sistemas de piso radiante ou ventiloconvectores. Pelas razões apresentadas no capítulo 2.4.1. Piso Radiante, o sistema escolhido para o estudo será o ventiloconvector.

Para além das vantagens referidas acima, os ventiloconvectores têm como vantagem ser de fácil aplicação em casas já construídas, podem-se encastrar nas paredes visto que necessitam de pouco espaço para a sua aplicação e têm uma vida útil estimada de 20 anos.

Para além dos aspetos referidos, um grupo de cientistas europeus (EUROVEN) reviu artigos científicos acerca da ventilação e dos seus efeitos na saúde, conforto e produtividade em escritórios, escolas e casas. O grupo descobriu que o nível de ventilação estava fortemente ligado à qualidade do ar e saúde, afetando também os níveis de produtividade nos escritórios. A principal conclusão do estudo foi que um alto nível de ventilação melhora a qualidade do ar, reduz o risco de problemas de saúde e aumenta a produtividade. Adicionalmente o grupo concluiu que eram reportados mais problemas de saúde em edifícios que possuíam um sistema de ar condicionado, comparando com edifícios que fazem ventilação natural ou a extração do ar (Wargocki, 2002).

4. Estudo do Fluido a ser utilizado no Sistema Hidráulico

O sistema em estudo é para ser usado para fazer tanto o aquecimento como o arrefecimento de uma habitação. Assim, o fluido normalmente utilizado para o aquecimento é a água, o que não apresenta problemas. Para o arrefecimento poderá não ser bem assim, dependendo da temperatura de utilização do sistema, poderão ocorrer problemas com condensação, isso poderá ter consequências como gelo dentro dos tubos ou poderá causar humidade em certas zonas da habitação.

O ponto de orvalho é um fator de estudo importante quando se fala de humidades. Com isto em mente, podemos definir o ponto de orvalho como sendo a temperatura a qual o vapor de água presente no ar passa do estado gasoso para o estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação, o chamado orvalho (Horstmeyer, 2006). Em termos mais técnicos, o ponto de orvalho é a temperatura para a qual a humidade relativa da massa de ar considerada atinge os 100%.

A quantidade máxima de vapor de água que se pode encontrar dissolvida numa dada massa de ar é função da pressão e da temperatura. Assim, temperaturas maiores admitem massas de vapor de água maiores. Ao baixar a temperatura, a quantidade máxima de vapor de água admissível diminui, e a humidade relativa da massa de ar aumenta. A figura 12 ilustra porque é que isso acontece:

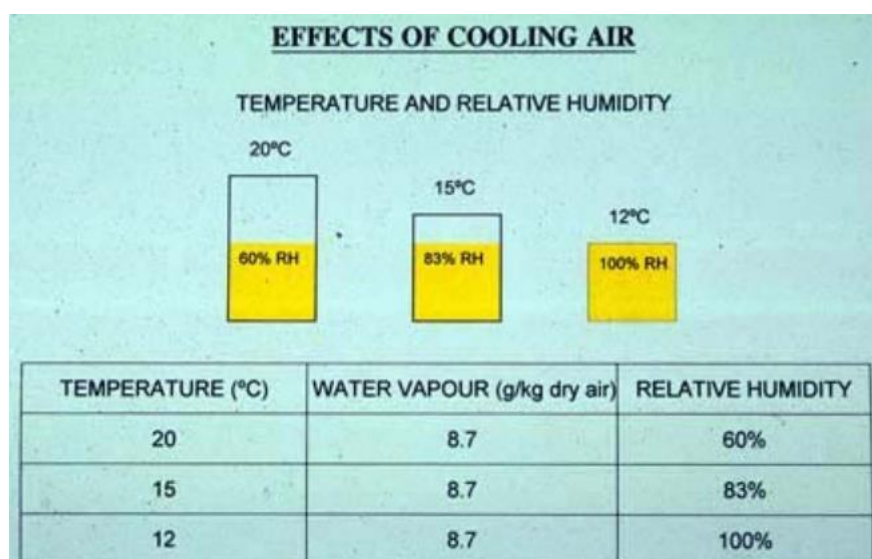


Figura 12 - Temperatura vs Humidade Relativa do Ar (Coleman, 2001)

Uma explicação simples é imaginar que o ar é um “recipiente” que contém uma determinada quantidade de água. Se esse ar for arrefecido, o tamanho do “recipiente” irá diminuir e, portanto, a proporção de água contida dentro deste aumenta. Se o ar continuar a arrefecer, o tamanho do “recipiente” vai continuar a diminuir até que este fique repleto de água. Se o ar arrefecer mais, o “recipiente” torna-se demasiado pequeno e a água irá transbordar. Na realidade isto acontece quando a temperatura do ar arrefece tanto que ele já não consegue conter mais água sob a forma de vapor. Quando isto acontece, o vapor de água passa ao estado líquido sob a forma de gotas, a chamada condensação. A temperatura a que a condensação começa, ou seja, a temperatura quando a humidade relativa atinge os 100% é a temperatura de ponto de orvalho (Coleman, 2001).

Assim, como as casas normalmente têm humidades, e como o fluido de distribuição de frio trabalha a uma temperatura relativamente baixa, fomos à procura de quais são as temperaturas de orvalho em Portugal. Assim, as temperaturas de ponto de orvalho em Portugal no dia 28 de março de 2019 são visíveis na figura abaixo.

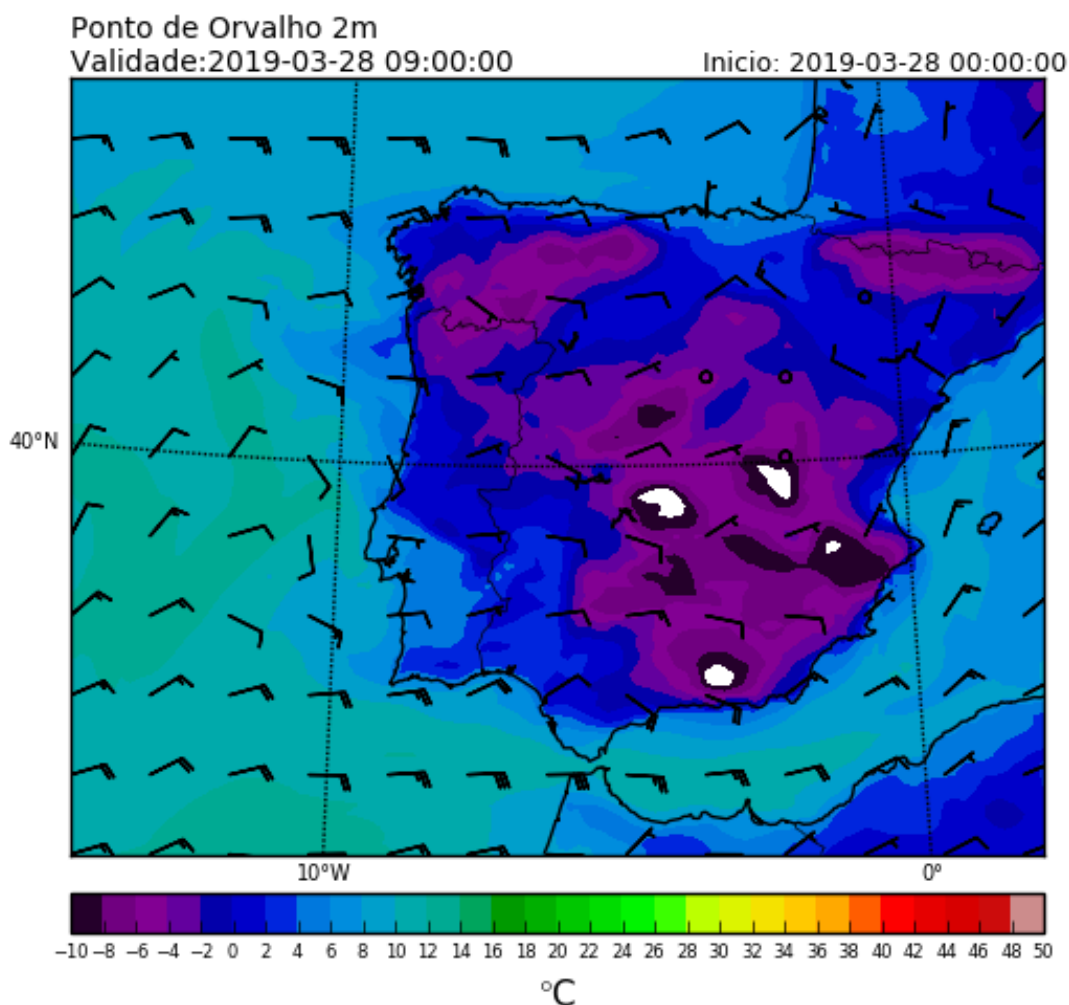


Figura 13 - Temperatura de Ponto de Orvalho para Portugal no dia 28/3/2019 (http://www.weather-climate.utad.pt/prev_porvalho/ - Acedido a 22/4/2019)

Assim, podemos ver na figura acima que as temperaturas de ponto de orvalho no dia 28 de março de 2019 variam entre os 6 °C e os -4 °C, temperaturas que estão bastante abaixo das temperaturas que se experienciam dentro de casa. No inverno a temperatura de conforto situa-se entre os 18 °C e os 22 °C, enquanto no verão está nos 25 °C. Estas temperaturas encontram-se bastante longe das temperaturas de ponto de orvalho. Assim, podemos concluir que não existem uma correlação direta entre a temperatura de ponto de orvalho exterior e as humidades existentes dentro de casa.

A humidade é um problema com o qual muitas pessoas se deparam. De referir que o excesso de humidade aumenta a probabilidade do aparecimento de doenças respiratórias como a asma, a bronquite, a sinusite e pode até mesmo provocar infeções pulmonares. Pode também causar cansaço, dificuldade em respirar, dor de cabeça, sensação de mal-estar e problemas nos ossos e músculos (Cardoso, 2018). Assim, a humidade é um problema que deve ser levado com seriedade. Então de onde provém a humidade?

Uma das causas da humidade é a condensação superficial. A condensação superficial está relacionada com o contacto entre a humidade transportada pelo ar e uma superfície fria - qualquer superfície, inclusive paredes, pavimentos, caixas-de-ar de pavimentos, caixas-de-ar de tetos, etc (Coleman, 2001). Por exemplo, quando se está a cozinhar com as janelas fechadas, elas depressa se enchem de gotículas. Isto acontece porque o calor que está na cozinha entra em contacto com a superfície fria da janela, criando um fenómeno de condensação (Cardoso, 2018).

Quando a humidade transportada pelo ar chega perto da superfície fria, o ar começa a arrefecer e a sua humidade relativa aumenta. Em contacto com a superfície fria, a temperatura do ar diminui até uma temperatura abaixo da temperatura do ponto de orvalho e começa a condensação (Coleman, 2001).

Mas para haver a condensação é preciso de fornecer uma quantidade de água ao ar superior à que ele consegue transportar. Essa quantidade extra de água fornecida ao ar vem do nosso estilo de vida. A quantidade de água produzida pelas atividades domésticas normais é uma quantidade considerável. Por exemplo, a secagem da roupa em cima dos radiadores irá adicionar uma quantidade significativa de vapor de água ao ar. Até o simples facto de respirarmos adiciona vapor de água ao ar. Considerando que a área superficial dos nossos pulmões é superior a 75 metros quadrados e que o ar quente passa por esta superfície húmida entre 15 a 20 vezes por minuto, conforme respiramos, esse ar vai ser expirado para o ambiente. Os animais de estimação também contribuem para o aumento de vapor de água no ar (Coleman, 2001).

Assim, na tabela 4 podemos ver exemplos do nosso estilo de vida e a quantidade de vapor de água que essas atividades produzem.

Tabela 4 - Produção de vapor de água numa casa (Coleman, 2001)

Origem do Vapor de Água (média casa/dia)	Quantidade Gerada (em litros)
4/5 pessoas a dormir	1,5
2 pessoas ativas	1,6
Cozinhar	2,6
Higiene pessoal	1,0
Lavar roupa	4,0
Secar roupa	4,5
Banhos	0,5
Total	15,7

Assim, as humidades que ocorrem dentro das casas dependem bastante das atividades humanas. São elas que irão adicionar vapor de água ao ar, tornando-o saturado e originando a condensação.

Assim, as temperaturas de utilização da bomba de calor e a temperatura de distribuição de calor para a habitação, nunca serão baixas o suficiente para que ocorra a condensação nem que haja formação de gelo nas tubagens. Assim sendo, poderemos usar água como fluido de distribuição de frio sem que existam grandes problemas.

5. Metodologias de Cálculo das Cargas Térmicas (Necessidades Térmicas)

Existem várias metodologias que podem ser usadas para fazer o cálculo das cargas ou necessidades térmicas de uma habitação. Nos seguintes subcapítulos iremos abordar duas metodologias diferentes para o seu cálculo.

Para este cálculo é importante definir o que é uma carga térmica. Assim, uma carga térmica é definida pela quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, por unidade de tempo, com o objetivo de manter determinadas condições térmicas dentro desse espaço.

O cálculo da carga térmica é a base principal do projeto de um espaço, e irá afetar o dimensionamento de todos os seus elementos. É um cálculo importante que influencia o custo do investimento inicial, o custo de operação e consumo de energia, e também terá influência no conforto térmico e produtividade dos ocupantes do espaço. Portanto, o cálculo da carga térmica deve-se realizar com precisão, sendo necessário descrever o espaço com as características reais do projeto. De referir que a utilização de fatores de segurança durante cada fase do cálculo pode resultar num valor irreal e superdimensionado para o sistema, o que irá gerar custos adicionais.

O principal objetivo de um sistema de climatização é ser capaz de proporcionar as condições necessárias para o conforto térmico humano. O conforto térmico não é um aspeto fixo, este vai depender de pessoa para pessoa, visto que ele é um processo cognitivo que envolve diversos fatores que são influenciados por aspetos físicos, fisiológicos, psicológicos, entre outros processos.

Para o cálculo das cargas térmicas é necessário considerar os ganhos de calor devido à envolvente, às pessoas, à iluminação, aos equipamentos internos, às renovações do ar e às infiltrações. Estes são os principais fatores a ter em consideração quando se faz o dimensionamento de um sistema de climatização. Os ganhos são classificados pelo modo de transferência, ele pode ser sensível ou latente. O ganho de calor sensível é o ganho direto no ambiente, através da condução, da convecção, e/ou da radiação, que irá provocar o aumento da temperatura. Como fontes de calor para o ganho de calor sensível temos a envolvente, as pessoas, a iluminação, os equipamentos internos, a renovação de ar e a infiltração. O ganho de calor latente ocorre quando é adicionada humidade ao ambiente, temos como exemplo a

transpiração das pessoas ou o vapor produzido a cozinhar (que irá resultar numa renovação de ar). Assim, como fontes de calor latente temos as pessoas, a renovação de ar e a infiltração.

Os parâmetros necessários para se fazer o cálculo da carga térmica são os referidos anteriormente: a envolvente, as pessoas, a iluminação, os equipamentos internos, as renovações de ar e as infiltrações. Estes parâmetros irão ser abordados de seguida.

A envolvente quando comparada com os restantes parâmetros do cálculo da carga térmica, pode-se dizer que se trata do parâmetro mais estável, isto acontece pois desde a sua conceção até ao término da vida útil da habitação, este tende a manter as suas características iniciais. Tomemos por exemplo a área envidraçada, o tipo de envidraçado utilizado, e os materiais utilizados nas paredes e coberturas, eles tendem a ser mantidos sendo apenas feitas eventuais manutenções.

Outro parâmetro importante a considerar é o número de pessoas que irão frequentar o espaço e definir o número de horas que elas o irão utilizar. Isto é importante pois o ser humano produz calor e este irá afetar diretamente a carga térmica da habitação.

A iluminação é um parâmetro importante uma vez que esta é o componente que mais contribui para o ganho de calor do ambiente.

Relativamente aos equipamentos internos, o calor produzido por estes é obtido fazendo o levantamento dos equipamentos da habitação e das informações do fabricante. Deve ser também considerada a operação dos equipamentos em standby e o fator de simultaneidade.

No que diz respeito às renovações do ar, existem normas que determinam a quantidade necessária de ar a ser renovado para uma determinada aplicação. Onde existe ventilação natural, através das janelas, considera-se esta taxa como uma infiltração. A infiltração é o fluxo de ar do exterior para o interior do edifício através de frestas e outras aberturas não intencionais, e também o ar que entra devido à utilização de portas.

5.1. Formulário para Cálculo das Cargas Térmicas Típicas

É preciso calcular o calor produzido por cada um dos parâmetros apresentados e descritos acima. Assim, para fazer os cálculos, podemos dividir as cargas térmicas dentro de uma habitação em calor sensível e calor latente.

Começamos pelo cálculo do calor sensível, para o cálculo seu é preciso considerar a transmissão de calor através das paredes, do teto, do pavimento, dos envidraçados, a calor produzido pela iluminação e pelas pessoas.

Assim, a expressão para o cálculo do calor sensível é a seguinte:

$$Q_s(W) = Q_{s1}(W) + Q_{s2}(W) + Q_{s3}(W) \quad (5)$$

Sendo:

- Q_{s1} - Transmissão de calor através das paredes, do teto, do pavimento e dos envidraçados [W];
- Q_{s2} - Carga térmica devido à iluminação [W];
- Q_{s3} - Carga térmica devido às pessoas [W].

A transmissão de calor através das paredes, do teto, do pavimento e dos envidraçados é dada pela expressão (6). De referir que é necessário fazer um cálculo diferente para cada uma das paredes, para o teto, para o pavimento e para os envidraçados, isto porque a área e o coeficiente global de transmissão de calor podem variar de acordo com a superfície considerada para o cálculo.

$$Q_{s1}(W) = U(W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \times A(m^2) \times \Delta T(^\circ\text{C}) \quad (6)$$

Onde:

- U - coeficiente global de transmissão de calor da superfície considerada [$W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$];
- A - área da superfície considerada [m^2];
- ΔT - diferença de temperatura entre as duas faces da superfície considerada [$^\circ\text{C}$].

Para calcular o coeficiente global de transmissão de calor da superfície considerada (U), é usada a expressão (7):

$$U(W/m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1 / R(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W) \quad (7)$$

Onde R é a resistência térmica do material que constitui a superfície considerada e que é calculada pela expressão (8):

$$R(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W) = 1/h_i(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W) + \Sigma(e/k)(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W) + 1/h_e(m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W) \quad (8)$$

Onde:

- $1/h_i$ - resistência térmica de convecção da superfície interna [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W$];
- $\Sigma(e/k)$ - somatório das resistências térmicas de condução das diferentes camadas de materiais que constituem a parede [$m^2 \text{ } ^\circ\text{C}/W$];
- e - espessura [m];
- k - condutividade térmica [$W/m \text{ } ^\circ\text{C}$];

- $1/h_e$ - resistência térmica de convecção da superfície externa [$m^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$].

O cálculo da carga térmica devido à iluminação é dado pela expressão (9):

$$Q_{s2}(W) = A(m^2) \times q(W/m^2) \times t_f(h) / t(h) \quad (9)$$

Onde:

- A - área do teto [m^2];
- q - carga térmica das lâmpadas [W/m^2];
- t_f - tempo de funcionamento de cada lâmpada [h];
- t - tempo de funcionamento do local [h].

O cálculo da carga térmica das lâmpadas é dado pela expressão (10):

$$q(W/m^2) = P_{lamp}(W) \times n_{lamp} / A(m^2) \quad (10)$$

Em que:

- P_{lamp} - potência da lâmpada [W];
- n_{lamp} - número de lâmpadas;
- A - área do teto [m^2].

O cálculo da carga térmica devido às pessoas é dado pela seguinte fórmula (11):

$$Q_{s3}(W) = n \times q(W) \times t(h) / 24 \quad (11)$$

Onde:

- n - número de pessoas;
- q - quantidade de calor sensível por pessoa [W];
- t - tempo de permanência [h].

Após se fazer o cálculo do calor sensível é preciso também calcular o calor latente. Para o cálculo do calor latente é preciso considerar a carga térmica produzida pelas pessoas.

O cálculo da carga térmica devido a pessoas para o calor latente (12) vai ser idêntica à expressão usada no calor sensível (11), ficando da seguinte forma:

$$Q_{l1}(W) = n \times q(W) \times t(h) / 24 \quad (12)$$

Onde:

- n - número de pessoas;
- q - quantidade de calor latente por pessoa [W];
- t - tempo de permanência [h].

Existe ainda uma carga independente, uma carga térmica de arrefecimento (Q_{arref}), que é dada pela expressão (13):

$$Q_{arref}(kW) = \dot{m}(\text{kg/s}) \times [C_p(\text{kJ/kg K}) \times (T_1(\text{K}) - T_2(\text{K})) + (\omega_1(\%) \times h_{v1}(\text{kJ/kg}) - \omega_2(\%) \times h_{v2}(\text{kJ/kg})) - (\omega_1(\%) - \omega_3(\%)) \times h_{l3}(\text{kJ/kg})] \quad (13)$$

Onde:

- \dot{m} - caudal mássico de ar fornecido [kg/s];
- T - temperatura [K];
- ω - humidade relativa [%];
- h_v - entalpia de vapor [kJ/kg];
- h_l - entalpia de líquido [kJ/kg].

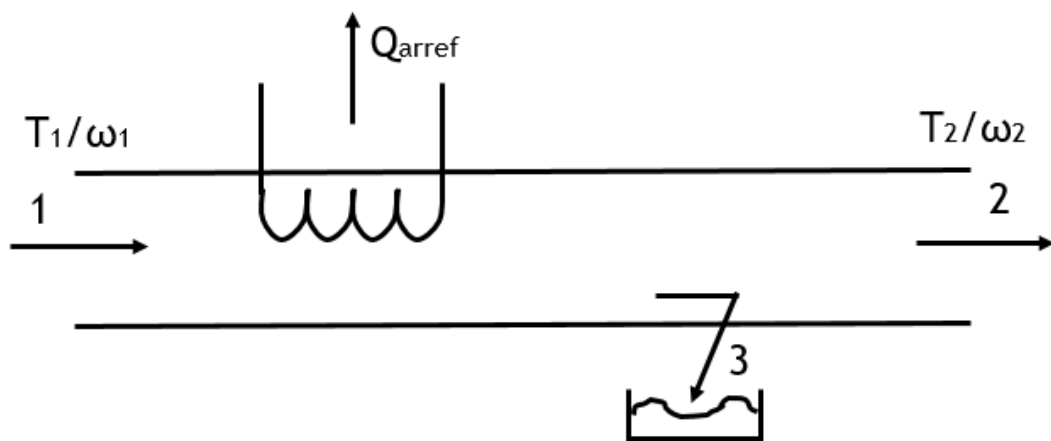


Figura 14 - Carga térmica de arrefecimento

Para calcular o caudal mássico de ar fornecido utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\dot{m}(\text{kg/s}) = (p(100\text{kPa}) \times V_s(\text{m}^3/\text{s})) / (R(\text{J/kg K}) \times T_s(\text{K})) \quad (14)$$

Com:

- p - pressão [100kPa];
- V_s - caudal volumétrico de ar fornecido [m^3/s];
- R - constante universal dos gases perfeitos [J/kg K];
- T_s - temperatura do ar fornecido [K].

Sendo o caudal volumétrico de ar fornecido calculado por:

$$V_s(m^3/s) = V(m^3) \times n(1/h) / 3600 \quad (15)$$

Onde:

- V - volume do espaço considerado [m^3];
- n - taxa de renovação do ar [1/h].

Para calcular a temperatura do ar fornecido utiliza-se a fórmula (16):

$$T_s(K) = T_r(K) / ((R(J/kg K) \times Q_s(kW) / (p(100kPa) * V_s(m^3/s) \times (C_{pa}(J/kg K) + \omega_r(kg_{H2O}/kg_{ar}) \times C_{pv}(J/kg K)))) + 1) \quad (16)$$

Onde:

- T_r - temperatura de bolbo seco do espaço [K];
- Q_s - calor sensível [kW];
- C_{pa} - calor específico do ar [J/kg K];
- ω_r - humidade absoluta [kg_{H2O}/kg_{ar}];
- C_{pv} - calor específico do vapor [J/kg K].

Com esta metodologia seriam necessários fazer dois cálculos, um com o objetivo de determinar a potência necessária para o ventiloconvetor e outro para determinar a potência para a bomba de calor. Para fazer o cálculo da potência para o ventiloconvetor, teria de ser um processo iterativo, uma vez que o caudal volumétrico de ar é definido pela especificação do ventiloconvetor, pelo que seria necessário escolher um e verificar se cumpria as condições de carga térmica imposta pela habitação.

5.2. Formulário para Cálculo das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil

Outra metodologia para determinar as potências dos equipamentos é através do cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil dos edifícios para aquecimento, para arrefecimento e de energia primária. De referir que os primeiros dois parâmetros estão apenas dependentes da arquitetura do edifício, sendo que o terceiro está dependente dos sistemas utilizados. Estes são parâmetros importantes para que o edifício tenha o certificado energético. A forma como esses parâmetros irão ser calculados é apresentada nos subcapítulos abaixo.

Todos os cálculos realizados com esta metodologia seguem o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH). Este regulamento tem como objetivo promover uma melhoria do comportamento térmico e eficiência dos sistemas técnicos, e minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos meios da envolvente. Assim, ele irá definir valores máximos para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, para arrefecimento e de energia primária.

5.2.1. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento

O valor das necessidades nominais de energia útil de aquecimento de uma habitação (N_{ic}) representa a energia útil que é necessário fornecer à habitação, por unidade de área útil de pavimento, de modo a manter uma temperatura de referência de 18 °C no seu interior, durante a estação de aquecimento.

De uma forma simplificada podemos considerar que o N_{ic} será as perdas menos os ganhos úteis, tudo a dividir pela área útil de pavimento. Sendo que as perdas são a transmissão de calor para a envolvente, pelas paredes, pelo pavimento, pela cobertura, pelas portas, pelas janelas, pelas pontes térmicas e as perdas por ventilação. Os ganhos úteis consideram-se os ganhos solares e os ganhos internos. Só que os ganhos solares e os ganhos internos são ganhos brutos, que terão de ser multiplicados por um fator de utilização dos ganhos térmicos. Este fator representa a fração unitária dos ganhos brutos que não provocam sobreaquecimento, ele está dependente da inercia térmica da habitação.

De uma forma mais elaborada, o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento do edifício pode ser calculado pela expressão seguinte:

$$N_{ic}(\text{kWh}/\text{m}^2\text{ano}) = (Q_{tr,i}(\text{kWh}) + Q_{ve,i}(\text{kWh}) + Q_{gu,i}(\text{kWh})) / A_p(\text{m}^2) \quad (17)$$

Onde:

- $Q_{tr,i}$ - transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente [kWh];
- $Q_{ve,i}$ - transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh];
- $Q_{gu,i}$ - ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados e dos ganhos internos [kWh];
- A_p - área útil de pavimento [m^2].

O REH define um limite máximo para o valor das necessidades nominais de energia útil de aquecimento, denominado N_i . Assim, $N_{ic} \leq N_i$. O valor de N_i é determinado usando valores de referência para os parâmetros térmicos da envolvente da habitação em estudo, fixados em portaria do membro do Governo responsável pela área da energia.

5.2.2. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil de arrefecimento para uma habitação representa a energia útil que é necessário retirar à habitação, por unidade de área de pavimento útil, de modo a que a temperatura no seu interior se mantenha nos 25 °C na estação de arrefecimento.

O REH definiu uma metodologia simplificada de modo a realizar este cálculo. Assim, o N_{vc} consiste em calcular a energia necessária de modo a evitar o sobreaquecimento. Essa energia é calculada multiplicando os ganhos térmicos totais brutos por 1 menos o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (expressão abaixo 18).

$$N_{vc}(\text{kWh}/\text{m}^2\text{ano}) = ((1 - \eta_v) \times Q_{g,v}(\text{kWh})) / A_p(\text{m}^2) \quad (18)$$

Onde:

- η_v - fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- $Q_{g,v}$ - ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento [kWh];
- A_p - área útil de pavimento [m^2].

À semelhança do que acontece com as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, o REH também define um valor limite para o arrefecimento, sendo ele denominado por N_v e $N_{vc} \leq N_v$. Este valor é calculado da mesma maneira que foi calculado para o aquecimento.

5.2.3. Valor das Necessidades Nominais Anuais de Energia Primária

O valor das necessidades nominais anuais de energia primária de uma habitação, N_{tc} , é resultado da soma das necessidades nominais específicas de energia primária para aquecimento (N_{ic}), para arrefecimento (N_{vc}), para produção de AQS (Q_a/A_p) e para a ventilação mecânica, subtraindo possíveis contribuições de fontes de energias renováveis, como é possível ver na expressão seguinte:

$$N_{tc}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) = N_{tc,\text{aquec}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) + N_{tc,\text{arref}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) + N_{tc,\text{AQS}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) + N_{tc,\text{vent}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) - N_{tc,\text{ren}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) \quad (19)$$

Onde:

- $N_{tc,\text{aquec}}$ - Necessidades nominais específicas de energia primária para aquecimento [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{ano}$];
- $N_{tc,\text{arref}}$ - Necessidades nominais específicas de energia primária para arrefecimento [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{ano}$];
- $N_{tc,\text{AQS}}$ - Necessidades nominais específicas de energia primária para AQS [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{ano}$];
- $N_{tc,\text{vent}}$ - Necessidades nominais específicas de energia primária para ventilação [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{ano}$];
- $N_{tc,\text{ren}}$ - Contribuição nominal de fontes de energia renovável [$\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2\text{ano}$].

O valor de $N_{tc,\text{aquec}}$ é determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{tc,\text{aquec}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) = \sum_{k=1}^n (f_{i,k} \times N_{ic}(\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ ano}) \times F_{pu,k}(\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}) / \eta_k) \quad (20)$$

Onde:

- $f_{i,k}$ - fração das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema de aquecimento k ;
- N_{ic} - valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$\text{kWh}/\text{m}^2\text{ano}$];
- $F_{pu,k}$ - fator de conversão de energia útil para energia primária, tendo em consideração a fonte de energia utilizada pelo sistema de aquecimento [$\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$];
- η_k - eficiência do sistema de aquecimento k ($\eta_k=1$ se o sistema utilizar energia renovável, excetuando sistemas de queima de biomassa que se deve considerar a eficiência do sistema);
- n - número de sistemas de aquecimento distintos.

O valor de $N_{tc,\text{arref}}$ é determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{tc,\text{arref}}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) = \sum_{k=1}^n (f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}(\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ ano}) \times F_{pu,k}(\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}) / \eta_k) \quad (21)$$

Onde:

- $f_{i,k}$ - fração das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema de arrefecimento k ;
- δ - Se o fator de utilização dos ganhos térmicos for superior ao de referência, $\delta=0$, senão $\delta=1$;
- N_{vc} - valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m²ano];
- $F_{pu,k}$ - fator de conversão de energia útil para energia primária, tendo em consideração a fonte de energia utilizada pelo sistema de arrefecimento [kWh_{EP}/kWh];
- η_k - eficiência do sistema de arrefecimento k ($\eta_k=1$ se o sistema utilizar energia renovável);
- n - número de sistemas de arrefecimento distintos.

O valor de $N_{tc,AQS}$ é determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{tc,AQS}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) = \sum_{k=1}^n (f_{a,k} \times (Q_a(\text{kWh}/\text{ano}) / A_p(\text{m}^2)) \times F_{pu,k}(\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}) / \eta_k) \quad (22)$$

Onde:

- $f_{a,k}$ - fração das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k de preparação de AQS;
- Q_a - necessidades de energia útil para AQS [kWh/ano];
- A_p - área interior útil de pavimento [m²];
- $F_{pu,k}$ - fator de conversão de energia útil para energia primária, tendo em consideração a fonte de energia utilizada pelo sistema k de preparação de AQS [kWh_{EP}/kWh];
- η_k - eficiência do sistema k de preparação de AQS ($\eta_k=1$ se o sistema utilizar energia renovável);
- n - número de sistemas de AQS distintos.

O valor de $N_{tc,vent}$ é determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{tc,vent}(\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2 \text{ ano}) = \sum_{k=1}^n (W_{vm,k}(\text{kWh}/\text{ano}) \times F_{pu,k}(\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}) / A_p(\text{m}^2)) \quad (23)$$

Onde:

- $W_{vm,k}$ - energia elétrica anual para o ventilador k [kWh/ano];
- $F_{pu,k}$ - fator de conversão de energia útil para energia primária, tendo em consideração a fonte de energia utilizada pelo ventilador k [kWh_{EP}/kWh];
- A_p - área interior útil de pavimento [m²];
- n - número de ventiladores distintos.

O valor de $N_{tc,ren}$ é determinado de acordo com a seguinte expressão:

$$N_{tc,ren}(kWh_{EP}/m^2 \text{ ano}) = \sum_{k=1}^p (E_{ren,p}(kWh/\text{ano}) \times F_{pu,p}(kWh_{EP}/kWh) / A_p(m^2)) \quad (24)$$

Onde:

- $E_{ren,p}$ - energia produzida através da fonte de energia renovável p, inclui apenas a energia consumida [kWh/ano];
- $F_{pu,p}$ - fator de conversão de energia útil para energia primária, tendo em consideração a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh];
- A_p - área interior útil de pavimento [m²];
- n - número de sistemas de energia renovável.

O valor das necessidades nominais anuais de energia primária de uma habitação não pode exceder um valor máximo, denominado N_t , ou seja $N_{tc} \leq N_t$. Para o cálculo do valor máximo é apenas considerado as necessidades nominais de aquecimento, de arrefecimento e de AQS, deixando de parte os consumos de energia que advêm da ventilação mecânica e os sistemas de energia renovável. A expressão para o cálculo de N_t é a seguinte:

$$N_t(kWh_{EP}/m^2\text{ano}) = N_{t,aquec}(kWh_{EP}/m^2\text{ano}) + N_{t,arref}(kWh_{EP}/m^2\text{ano}) + N_{t,AQS}(kWh_{EP}/m^2\text{ano}) \quad (25)$$

Onde:

- $N_{t,aquec}$ - valor máximo das necessidades nominais específicas de energia primária destinada a aquecimento [kWh_{EP}/m²ano];
- $N_{t,arref}$ - valor máximo das necessidades nominais específicas de energia primária destinada a arrefecimento [kWh_{EP}/m²ano];
- $N_{t,AQS}$ - valor máximo das necessidades nominais específicas de energia primária destinada a AQS [kWh_{EP}/m²ano].

As parcelas são calculadas de forma semelhante a como foram calculadas para N_{tc} , sendo a diferença que para o cálculo das parcelas referentes ao N_{tc} foi utilizado um η_k referente à eficiência do sistema aplicado na habitação e agora, para o N_t é utilizado um $\eta_{ref,k}$ que tem valores de referência tabelados de acordo com os sistemas técnicos previstos para a habitação.

Os sistemas técnicos estão previstos pelo REH e ele define os requisitos mínimos para os sistemas técnicos sendo eles exigem que as instalações de climatização a serem instaladas na habitação não podem ter uma potência térmica nominal superior a 25kW.

Para além de definirem a potência térmica máxima que pode ser instalada, eles definem os requisitos mínimos de eficiência. No nosso caso queremos fazer a instalação de uma bomba de calor ar-água, de acordo com a *Tabela I.10 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro*, ela terá

de ter uma classe de eficiência mínima de B, em função da sua classificação pela certificação Eurovent. Se os sistemas não se enquadrarem na respetiva categoria Eurovent, mas o seu desempenho foi avaliado segundo o mesmo referencial normativo, aplica-se o requisito equivalente, em termos de EER e COP, que é possível ver na tabela 5:

Tabela 5 - Classificação do desempenho de unidades split, multissplit e compactas com permuta ar-água (Extraído de: Tabela I.12 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)

Classe	Unidades com permuta ar-água			
	Arrefecimento		Aquecimento	
	Unidades split e multissplit	Unidades compactas	Unidades split e multissplit	Unidades compactas
A	$EER > 3,60$	$EER > 4,40$	$COP > 4,00$	$COP > 4,70$
B	$3,60 \geq EER > 3,30$	$4,40 \geq EER > 4,10$	$4,00 \geq COP > 3,70$	$4,70 \geq COP > 4,40$
C	$3,30 \geq EER > 3,10$	$4,10 \geq EER > 3,80$	$3,70 \geq COP > 3,40$	$4,40 \geq COP > 4,10$
D	$3,10 \geq EER > 2,80$	$3,80 \geq EER > 3,50$	$3,40 \geq COP > 3,10$	$4,10 \geq COP > 3,80$
E	$2,80 \geq EER > 2,50$	$3,50 \geq EER > 3,20$	$3,10 \geq COP > 2,80$	$3,80 \geq COP > 3,50$
F	$2,50 \geq EER > 2,20$	$3,20 \geq EER > 2,90$	$2,80 \geq COP > 2,50$	$3,50 \geq COP > 3,20$
G	$EER \leq 2,20$	$EER \leq 2,90$	$COP \leq 2,50$	$COP \leq 3,20$

Como foi referido anteriormente no trabalho, os ventiloconvectores podem trabalhar com qualquer fonte de calor, e como as bombas de calor quando a temperatura do ar baixa demasiado deixam de ter um rendimento aceitável, poderá ser considerado um sistema de suporte de fornecimento de calor.

As caldeiras a combustível líquido ou gasoso devem ter uma classe eficiência mínima de A, definida na *Tabela I.15 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro*. Sendo que o rendimento delas por classe energética é dado pela tabela 6:

Tabela 6 - Rendimento nominal de caldeiras (Extraído de: Tabela I.16 da Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro)

Caldeiras	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal η
	A++	$\eta \geq 96\%$
	A+	$96\% \geq \eta > 92\%$
	A	$92\% \geq \eta > 89\%$
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$

Relativamente às caldeiras, recuperadores de calor e salamandras que utilizem biomassa como combustível sólido, devem obedecer aos requisitos apresentados na tabela 7:

Tabela 7 - Eficiência mínima aplicável a caldeiras, recuperadores de calor e salamandras a biomassa
(Extraído da Tabela I.19-B/2013 de 29 de novembro)

Equipamento		Eficiência	Norma/Referência Aplicável
Caldeira a combustível sólido	Lenha	$\geq 0,75$	EN12809
	Granulados	$\geq 0,85$	
Recuperadores de calor e salamandras		$\geq 0,75$	EN13229 EN13240 EN14785

6. Casos de Estudo

Iremos aplicar a metodologia de cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento, arrefecimento e de energia primária de uma habitação. De modo a poder fazer o cálculo é necessário saber a caracterização do edifício. Assim, irá ser feita a descrição de cada edifício nos subcapítulos abaixo, sendo o primeiro uma moradia de dois pisos e o segundo um apartamento localizado no terceiro piso do edifício.

Para qualquer um dos casos em estudo, o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Dec. Lei 118/2013 de 20 de agosto estabelece as seguintes condições interiores de conforto de referência: para a estação de aquecimento (inverno) uma temperatura do ar de 18 °C e para a estação de arrefecimento (verão) uma temperatura do ar de 25 °C. Para além disso, a taxa de renovação de ar foi calculada com recurso à aplicação desenvolvida pelo LNEC.

6.1. Caso de Estudo 1

Para o primeiro caso irá ser feito o estudo para uma moradia unifamiliar isolada de tipologia T3. Terá uma área útil de pavimento de 141,53 m² e pé-direito médio de 2,87 m. Ela terá dois pisos acima da cota da soleira e uma garagem exterior à fração. O rés-do-chão é constituído por uma sala, cozinha, despensa, escritório, uma instalação sanitária, circulações interiores e caixa de escada com acesso ao 1.º andar. O 1.º andar é constituído por dois quartos, um vestíário, uma instalação sanitária e circulações interiores. O edifício encontra-se localizado no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 505 m, que corresponde à zona climática I2-V3. Ele não tem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a sua envolvente. A inércia térmica é forte e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão fortemente ventilado, não acessível, com isolante térmico sobre a laje de esteira. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de régua plásticas de cor clara (caixa de estore interior), à exceção de um vão situado a Norte, que possui vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm. Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha.

A caracterização dos espaços não úteis, dos parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior, parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior e parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior podem ser encontrados no anexo A.

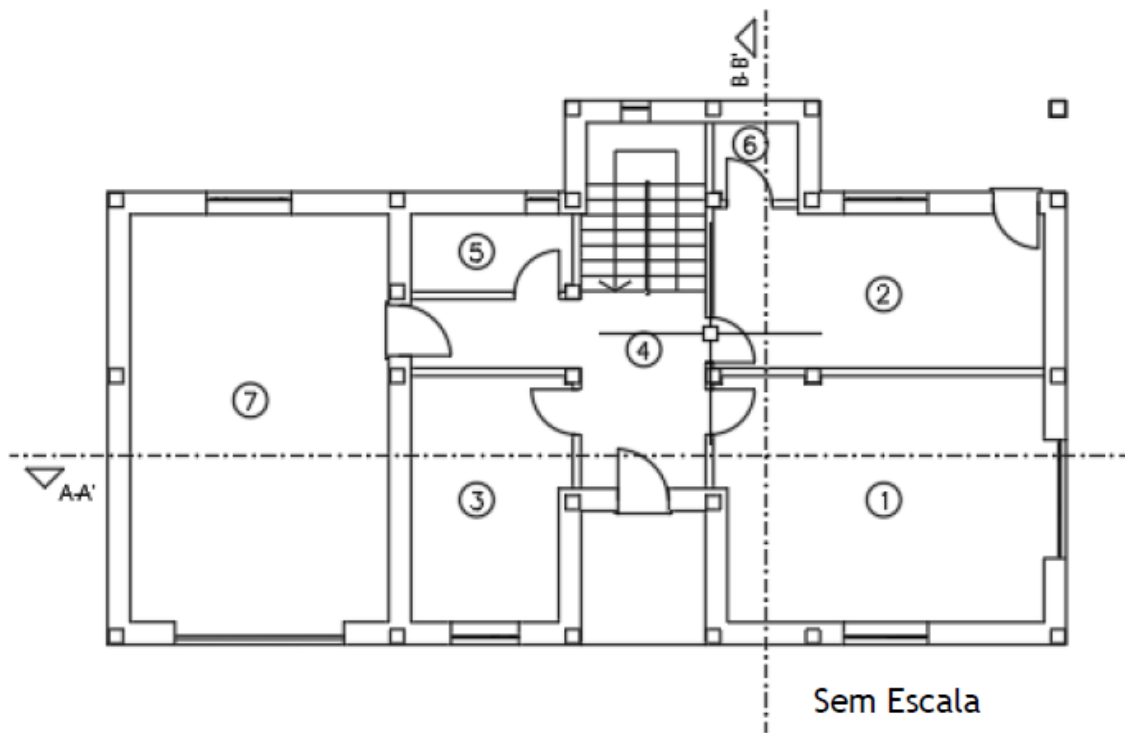


Figura 15 - Planta do piso 0 da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)

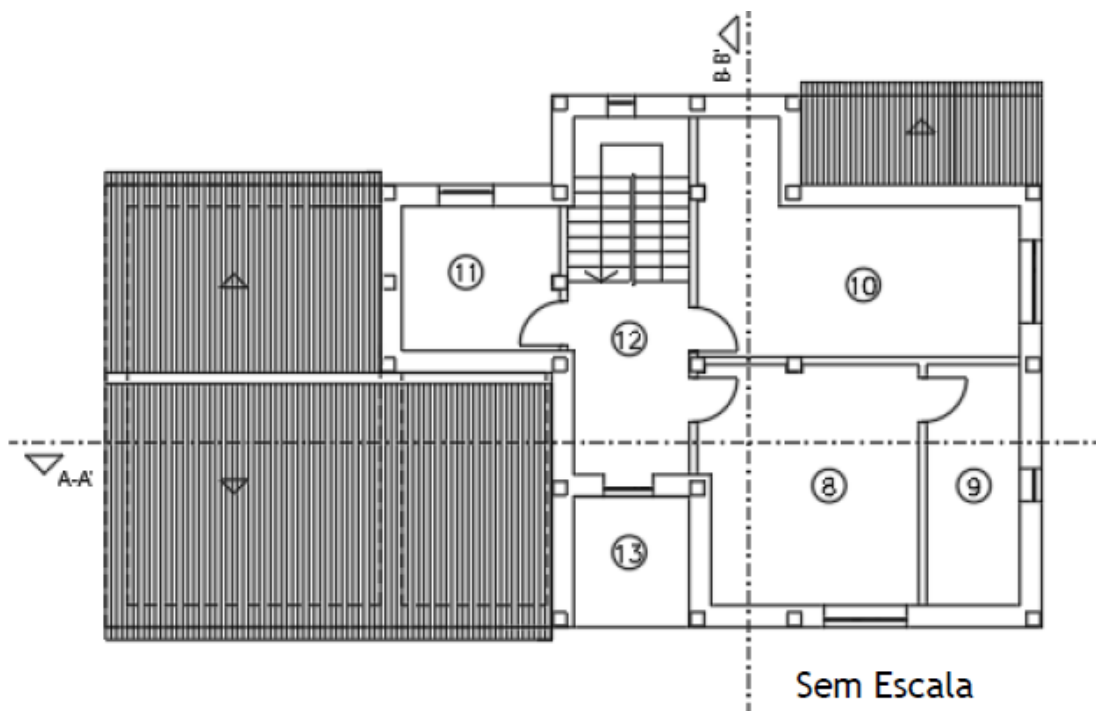


Figura 16 - Planta do piso 1 da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)

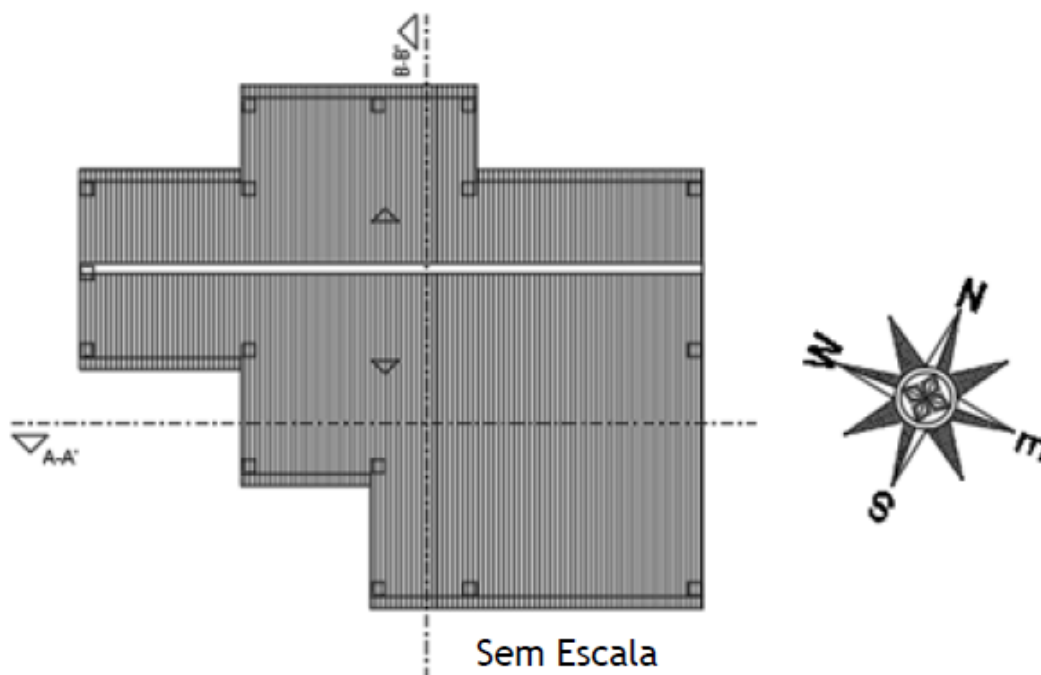


Figura 17 - Planta da cobertura da habitação em estudo (Caso de Estudo 1)

6.1.1. Área útil e pé-direito médio

A área útil inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores listados na tabela abaixo, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento.

Tabela 8 - Área útil e pé-direito por divisão (Caso de Estudo 1)

Piso	Divisão	Área Útil [m ²]	Pé-direito [m]
Piso 0	Sala de Estar	25,05	2,87
	Cozinha	16,23	2,87
	Escritório	11,96	2,87
	Circulações	17,91	2,87
	Instalações Sanitárias	3,94	2,87
	Despensa	2,04	2,87
Piso 1	Quarto	17,00	2,87
	Vestiário	7,44	2,87
	Quarto	18,47	2,87
	Instalações Sanitárias	7,51	2,87
	Circulações	13,98	2,87

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil de 141,53 m² e um pé-direito médio ponderado de 2,87 m.

6.1.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos são calculados em função da localização e altitude do local. Sendo que para a localização assumida, resulta numa zona climática de inverno I2 e numa zona climática de verão V3.

A estação de aquecimento tem a duração de 7,1 meses, sendo o número de graus-dias de 1684, com uma temperatura exterior média do mês mais frio de 7,5 °C e a energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul será de 140 kWh/m²mês.

A estação de arrefecimento tem a duração de 2928 horas e a temperatura exterior média nesta estação é de 22,5 °C. A intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (I_{sol}) em kWh/m² é dada na tabela 9:

Tabela 9 - Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Caso de Estudo 1)

Orientação	Hor.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I_{sol}	825	225	360	495	495	425	495	495	360

6.1.3. Classe de inércia térmica

Com os dados da casa é possível calcular a sua inercia térmica. Assim, ela foi calculada e chegou-se à conclusão que a fração autónoma possui uma classe de inércia térmica FORTE.

6.1.4. Taxa de renovação do ar

Assim, foi obtida uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento de 0,56 renovações por hora, e uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento de 0,60 renovações por hora.

6.2. Caso de Estudo 2

Para o segundo caso irá ser feito o estudo de um apartamento de tipologia T3. Terá uma área útil de pavimento de 103,13 m² e pé-direito médio de 2,60 m. Ele terá um único piso que será constituído por uma sala, cozinha, despensa, três quartos, duas instalações sanitárias e circulações interiores. O edifício em questão localiza-se no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 590 m, que corresponde à zona climática I3-V3. Ele não tem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a sua envolvente. A inércia térmica é média e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão fortemente ventilado, acessível e destinado a espaço de arrecadação das respetivas frações autónomas do edifício, com isolante térmico sobre a laje da cobertura. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia em PVC da

fabricante Caixiave, Série 70 plus, classe A, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior). Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha.

A caracterização dos espaços não úteis, dos parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior, parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior e parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior podem ser encontrados no anexo B.

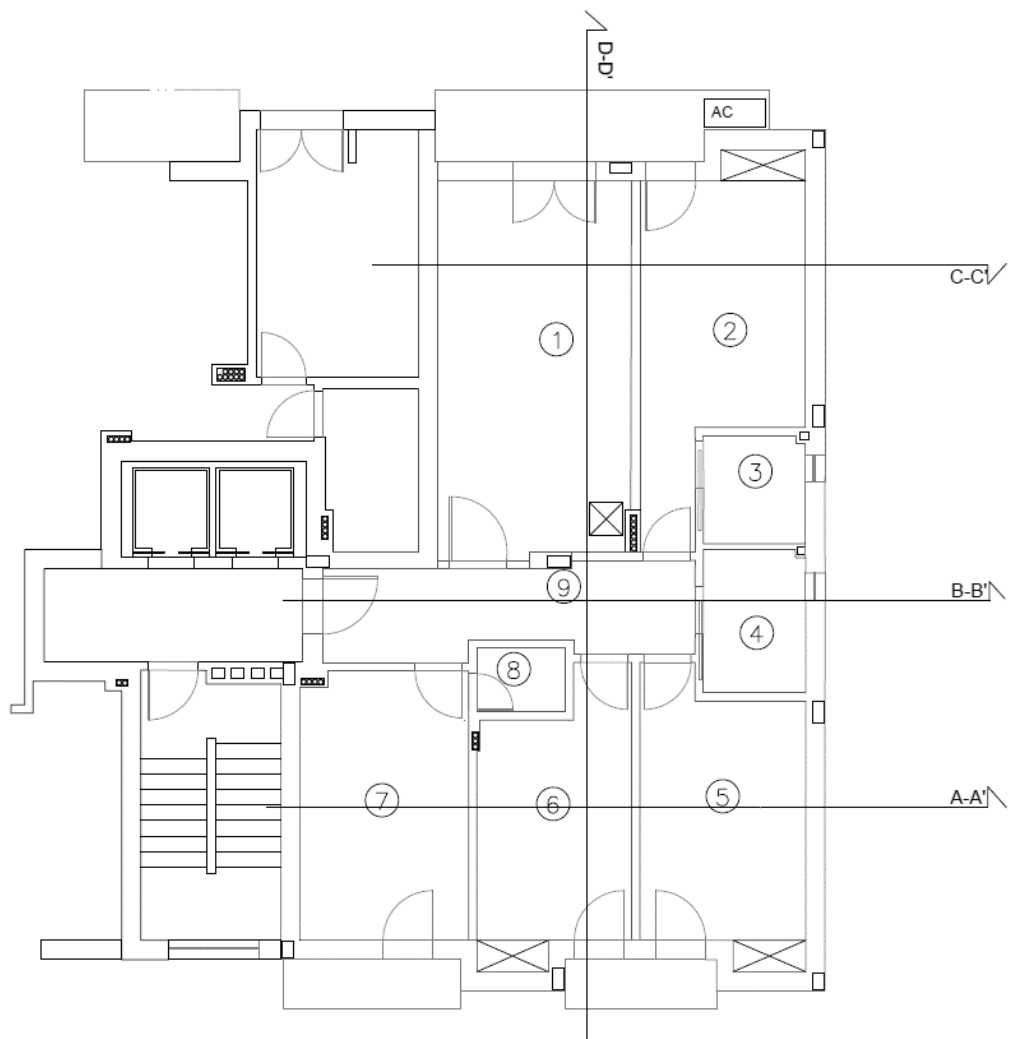


Figura 18 - Planta da habitação em estudo (Caso de Estudo 2)

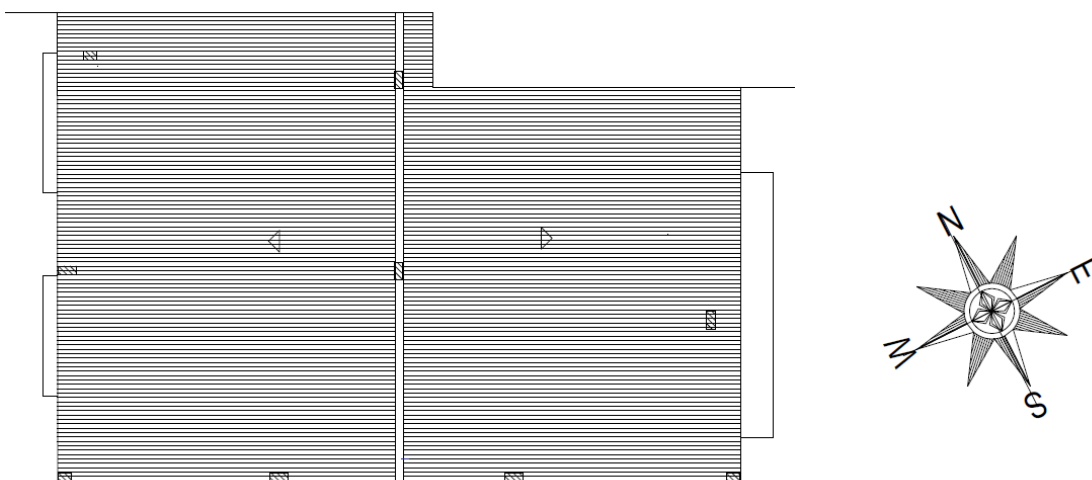


Figura 19 - Planta da cobertura da habitação em estudo (Caso de Estudo 2)

6.2.1. Área útil e pé-direito médio

A área útil inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores listados na tabela abaixo, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento.

Tabela 10 - Área útil e pé-direito por divisão (Caso de Estudo 2)

Piso	Divisão	Área Útil [m ²]	Pé-direito [m]
Piso 3	Sala de Estar	23,62	2,60
	Quarto	16,50	2,60
	Instalações Sanitárias	3,60	2,60
	Instalações Sanitárias	4,78	2,60
	Quarto	14,42	2,60
	Quarto	12,96	2,60
	Cozinha	14,71	2,60
	Dispensa	1,84	2,60
	Circulação	10,70	2,60

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil de 103,13 m² e um pé-direito médio ponderado de 2,60 m.

6.2.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos são calculados em função da localização e altitude do local. Sendo que para a localização assumida, resulta numa zona climática de inverno I3 e numa zona climática de verão V3.

A estação de aquecimento tem a duração de 7,1 meses, sendo o número de graus-dias de 1803, com uma temperatura exterior média do mês mais frio de 7,1 °C e a energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul será de 140 kWh/m²mês.

A estação de arrefecimento tem a duração de 2928 horas e a temperatura exterior média nesta estação é de 22,0 °C. A intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (I_{sol}) em kWh/m² é dada na tabela 11:

Tabela 11 - Intensidade média da radiação solar durante a estação convencional de arrefecimento (Caso de Estudo 2)

Orientação	Hor.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
I_{sol}	825	225	360	495	495	425	495	495	360

6.2.3. Classe de inércia térmica

Com os dados da casa é possível calcular a sua inércia térmica. Assim, ela foi calculada e chegou-se à conclusão que a fração autónoma possui uma classe de inércia térmica MÉDIA.

6.2.4. Taxa de renovação do ar

Assim, foi obtida uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento de 0,61 renovações por hora, e uma taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento de 0,61 renovações por hora.

7. Resultados Obtidos

Tendo as características da arquitetura e envolvente do edifício em análise, é possível obter o valor das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento e de arrefecimento. Tendo estes valores pode então se escolher qual ou quais os sistemas a aplicar ao edifício e analisar qual a sua necessidade nominal anual de energia primária e verificar se ele cumpre o Regulamento do Desempenho Energético de Edifícios de Habitação.

Para a verificação de cumprimento de requisitos irá ser usada uma folha de cálculo disponibilizada pelo ITECONS. Nessa folha de cálculo irão estar os valores obtidos para as necessidades nominais anuais de energia de aquecimento, arrefecimento e de energia primária, e os valores de obtidos para o edifício de referência. Para os resultados serem viáveis, os valores obtidos para o edifício em estudo têm de ser menores do que os valores obtidos para o edifício de referência.

7.1. Caso de Estudo 1

Para o estudo das necessidades nominais anuais de energia primária é importante definir os sistemas que irão ser utilizados na habitação em questão. Assim, os sistemas a serem utilizados estão descritos abaixo.

O sistema de AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

Relativamente às energias renováveis, serão colocados 3,00 m² de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 300 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} será de 900 kWh/ano, sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS.

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de um recuperador de calor a biomassa fabricante BAXI, referência 190710001, com uma eficiência de conversão de 0,8. A potência do recuperador de calor prevista será inferior a 25 kW, sendo a sua potência de 16,5 kW e com fração servida equivalente a 100%.

Para climatização (arrefecimento) está previsto a instalação de uma bomba de calor do tipo multissplit com permuta ar-água fabricante BAXI, referência 144007002, com uma potência de 7,90 kW e um EER de 3,99 com fração servida equivalente a 100%.

Definidos os sistemas a serem utilizados na habitação, inserem-se os valores na folha de cálculo do ITECONS e os resultados obtidos foram os seguintes:

- Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.
- Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.
- Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas mecânicos.

Tabela 12 - Resultados Obtidos (Caso de Estudo 1)

Fração autônoma	A_p [m ²]	Taxa renov. (Rph)	N_{ic}	N_i	N_{vc}	N_v	N_{tc}	N_t
			[kWh/(m ² .ano)]				[kWh _{ep} /(m ² .ano)]	
Moradia	141,53	0,52	65,8	90,8	7,6	15,2	16,1	137,4

Os resultados apresentados confirmam o cumprimento de todos os limites das necessidades energéticas exigidos pelo REH.

Para além dos resultados apresentados na tabela, a folha de cálculo também dá a classificação energética da moradia, que terá uma **Classificação Energética A+** e uma emissão anual estimada de **0,40 toneladas equivalentes de CO₂**.

Por curiosidade, se a climatização da moradia for toda feita pela bomba de calor definida acima para o arrefecimento, sendo que os dados dela para o aquecimento são uma potência de 8,26 kW (abaixo dos 25 kW definidos pelo REH) e um COP de 4,27. Os resultados obtidos são apresentados abaixo.

De referir que os valores relativamente às necessidades nominais anuais de energia de aquecimento e de arrefecimento se mantêm iguais, uma vez que apenas dependem da arquitetura e envolvente do edifício.

Tabela 13 - Resultados obtidos caso a climatização da moradia seja feita exclusivamente pela bomba de calor (Caso de Estudo 1)

N_{tc} [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	N_t [kWh _{EP} /(m ² .ano)]	Classe Energética	Toneladas Equivalentes de CO ₂
54,6	98,5	B	1,2

Como se pode ver na tabela acima, ela cumpre todos os requisitos de necessidades nominais anuais de energia primária, apesar de a sua classe energética diminuir.

7.2. Caso de Estudo 2

À semelhança do que foi feito para o caso de estudo 1, também para o caso de estudo 2 é necessário definir os sistemas que irão ser utilizados na habitação em questão. Assim, os sistemas a serem utilizados estão descritos abaixo.

O sistema de AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

Relativamente às energias renováveis, serão colocados 3,90 m² de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 200 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} será de 1440 kWh/ano, sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS.

Para o sistema de climatização irão ser usados os mesmos sistemas já descritos no caso 1, assim sendo, os sistemas que vão ser usados para a climatização serão os seguintes:

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de um recuperador de calor a biomassa fabricante BAXI, referência 190710001 (BAXI, 2017), com uma eficiência de conversão de 0,8. A potência do recuperador de calor prevista será inferior a 25 kW, sendo a sua potência de 16,5 kW e com fração servida equivalente a 100%.

Para climatização (arrefecimento) está previsto a instalação de uma bomba de calor do tipo multissplit com permuta ar-água fabricante BAXI, referência 144007002 (BAXI, 2017), com uma potência de 7,90 kW e um EER de 3,99 com fração servida equivalente a 100%.

Definidos os sistemas a serem utilizados na habitação, inserem-se os valores na folha de cálculo do ITECONS e os resultados obtidos foram os seguintes:

- Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.
- Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.
- Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas mecânicos.

Como resultado da aplicação das folhas de cálculo para verificação detalhada (que constam no Anexo VI), obtiveram-se os seguintes valores para as necessidades energéticas:

Tabela 14 - Resultados Obtidos (Caso de Estudo 2)

Fração autónoma	A_p [m ²]	Taxa renov. (Rph)	N_{ic}	N_i	N_{vc}	N_v	N_{tc}	N_t
			[kWh/(m ² .ano)]				[kWh _{ep} /(m ² .ano)]	
Moradia	103,13	0,61	44,27	63,12	8,52	12,94	14,66	106,6

Os resultados apresentados confirmam o cumprimento de todos os limites das necessidades energéticas exigidos pelo REH.

Para além dos resultados apresentados na tabela, a folha de cálculo também dá a classificação energética da moradia, que terá uma **Classificação Energética A+** e uma emissão anual estimada de **0,20 toneladas equivalentes de CO₂**.

Assim como foi feito para o caso de estudo 1, agora também irá ser feito o estudo caso a climatização da moradia seja feita exclusivamente pela bomba de calor, sendo os resultados obtidos apresentados na tabela seguinte:

Tabela 15 - Resultados obtidos caso a climatização da moradia seja feita exclusivamente pela bomba de calor (Caso de Estudo 2)

N_{tc} [kWh _{EP} / (m ² .ano)]	N_e [kWh _{EP} / (m ² .ano)]	Classe Energética	Toneladas Equivalentes de CO ₂
40,18	78,35	B	0,6

Como é visível na tabela acima, ela irá cumprir todos os requisitos nominais anuais de energia primária definidos pelo REH.

8. Avaliação Económica

Para a avaliação económica iremos apenas fazer o estudo para o aquecimento e para o arrefecimento, uma vez que vamos manter o sistema de AQS e de energia renovável que vêm no projeto das moradias em estudo.

A fatura energética é quantificada tendo em consideração os seguintes aspetos (Nepomuceno, 2018):

- As necessidades nominais de energia útil, sendo elas as de aquecimento, arrefecimento e de AQS [kWh/m².ano];
- Área útil, em m², pé-direito ponderado, em m, e taxa horária de renovação do ar interior [renovações por hora];
- Sistemas técnicos e os seus respetivos combustíveis, a eficiência de conversão e o custo da energia [€/kWh].

O custo da energia pode ser consultado na seguinte tabela:

Tabela 16 - Custo da energia

Combustível	C _e (€/kWh)
Eletricidade	0,17
Gasóleo	0,096
Gás Natural	0,09
GPL (canalizado)	0,156
GPL (garrafas)	0,151
Biomassa	0,05

As faturas energéticas serão calculadas recorrendo às seguintes fórmulas:

Fatura energética para aquecimento:

$$FE_{\text{aquec}}(\text{€/ano}) = N_{\text{ic}}(\text{kWh/m}^2\text{ano}) \times A_p(\text{m}^2) \times C_e(\text{€/kWh}) / \text{Eficiência de Conversão} \quad (26)$$

Fatura energética para arrefecimento:

$$FE_{\text{arref}}(\text{€/ano}) = N_{\text{vc}}(\text{kWh/m}^2\text{ano}) \times A_p(\text{m}^2) \times C_e(\text{€/kWh}) / \text{Eficiência de Conversão} \quad (27)$$

Fatura energética para AQS:

$$FE_{\text{AQS}}(\text{€/ano}) = Q_a(\text{kWh/ano}) \times C_e(\text{€/kWh}) / \text{Eficiência de Conversão} \quad (28)$$

O período de retorno de investimento simples é calculado da seguinte forma:

$$PRS = CA(€) / RA(€/ano) \quad (29)$$

Onde:

- CA - custo acrescido de investimento [€];
- RA - Redução anual da fatura energética [€/ano].

Para se calcular o custo acrescido de investimento basta fazer a diferença entre o custo inicial da solução base e o custo inicial do sistema a utilizar.

Para se calcular a redução anual da fatura energética basta fazer a diferença entre a fatura energética anual do sistema base e a fatura energética do sistema escolhido a utilizar.

8.1. Caso de Estudo 1

Sistema padrão é definido como sendo o sistema de referência utilizado pela folha de cálculo de ITECONS. Assim, os sistemas de referência para aquecimento é definido sendo a eletricidade e tem uma eficiência nominal de 1. Para o sistema de arrefecimento é definido um sistema a eletricidade com uma eficiência nominal de 2,8. Para produção de AQS é utilizado um esquentador a GPL (canalizado) com uma eficiência de 0,92.

- Fatura energética para aquecimento: 1583,16 €/ano ou 131,93 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 65,31 €/ano ou 5,44 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 2051,52 €/ano ou 170,96 €/mês.

Para o caso de o sistema de aquecimento a recuperador de calor a biomassa, com uma eficiência de 0,80 e o sistema de arrefecimento com bomba de calor tipo multissplit com permuta ar-água com EER de 3,99:

- Fatura energética para aquecimento: 582,04 €/ano ou 48,50 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 45,83 €/ano ou 3,82 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 1030,93 €/ano ou 85,91 €/mês.

Para o caso de o sistema de aquecimento e arrefecimento com bomba de calor tipo multissplit com permuta ar-água, com COP de 4,27 e EER de 3,99:

- Fatura energética para aquecimento: 370,76 €/ano ou 30,90 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 45,83 €/ano ou 3,82 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 839,12 €/ano ou 69,93 €/mês.

Para o sistema de referência, o preço de investimento é de:

- Resistências elétricas: 170€
- Ar condicionado (ar-ar): 600€

O preço inicial de investimento é de:

- Recuperador de calor: 1900€
- Bomba de calor multissplit com permutador ar-água: 5000€

Daqui vem que o período de retorno de investimento simples para o primeiro caso é de 6,01 anos e para o segundo caso é de 3,49 anos.

8.2. Caso de Estudo 2

Sistema padrão, à semelhança do caso de estudo 1, é definido como sendo o sistema de referência utilizado pela folha de cálculo de ITECONS. Assim, os sistemas de referência para aquecimento é definido sendo a eletricidade e tem uma eficiência nominal de 1. Para o sistema de arrefecimento é definido um sistema a eletricidade com uma eficiência nominal de 2,8. Para produção de AQS é utilizado um esquentador a GPL (canalizado) com uma eficiência de 0,92.

- Fatura energética para aquecimento: 764,05 €/ano ou 63,67 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 53,22 €/ano ou 4,44 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 1220,33 €/ano ou 101,69 €/mês.

Para o caso de o sistema de aquecimento a recuperador de calor a biomassa, com uma eficiência de 0,80 e o sistema de arrefecimento com bomba de calor tipo multissplit com permuta ar-água com EER de 3,99:

- Fatura energética para aquecimento: 280,90 €/ano ou 23,41 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 37,35 €/ano ou 3,11 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 721,31 €/ano ou 60,11 €/mês.

Para o caso de o sistema de aquecimento e arrefecimento com bomba de calor tipo multissplit com permuta ar-água, com COP de 4,27 e EER de 3,99:

- Fatura energética para aquecimento: 178,93 €/ano ou 14,91 €/mês;
- Fatura energética para arrefecimento: 37,35 €/ano ou 3,11 €/mês;
- Fatura energética para AQS: 403,06 €/ano ou 33,59 €/mês;
- Fatura energética para climatização: 635,21 €/ano ou 52,93€/mês.

Para o sistema de referência, o preço de investimento é de:

- Resistências elétricas: 170€
- Ar condicionado (ar-ar): 600€

O preço inicial de investimento é de:

- Recuperador de calor: 1900€
- Bomba de calor multissplit com permutador ar-água: 5000€

Daqui vem que o período de retorno de investimento simples para o primeiro caso é de 12,28 anos e para o segundo caso é de 7,22 anos.

9. Conclusão

As bombas de calor são dispositivos cada vez mais utilizados para fazer a climatização nas habitações. Apesar de ela ser mais usada para fazer o arrefecimento, sendo a sua variante mais conhecida a permuta ar-ar, ou seja, o ar condicionado, ela tem outras variações, sendo elas a ar-água e água-água. A bomba de calor pode também ser usada para fazer o aquecimento da habitação. Foi referido anteriormente que a bomba de calor ar-água pode ter problemas a trabalhar com temperaturas inferiores a 5 °C, pois pode haver a formação de gelo no permutador exterior, sendo este problema facilmente resolvido com a colocação de resistências elétricas ou invertendo por breves instantes o ciclo de trabalho. Para além disso, os estudos realizados em habitações conduzidos pelo ISE demonstraram uma tendência de melhoramento do rendimento (COP) das bombas de calor.

Os ventiloconvectores são dispositivos mais usados para distribuir o calor, eles começam a ser agora utilizados para fazerem a distribuição de frio. A utilização deste dispositivo tem como vantagem conseguir distribuir calor de baixa temperatura, ideal para a temperatura fornecida pela bomba de calor, que tem o seu máximo nos 50 °C. Eles têm um bom desempenho pois utilizam a convecção forçada para transmitirem mais rapidamente o calor para o ar do espaço a climatizar.

Relativamente ao fluido de trabalho, inicialmente considerou-se o uso de anticongelantes misturados com água, pois poderiam ocorrer condensações e formação de gelo dentro das tubagens, algo que foi descartado neste trabalho. A temperatura de ponto de orvalho em nada influencia a ocorrência de humidades dentro de habitação uma vez que esta está longe da temperatura de operação do sistema de climatização. O que provoca as humidades dentro da habitação são as atividades desenvolvidas dentro desta que adicionam água ao ar do espaço. Assim, a água pode ser usada como fluido de distribuição de calor e de frio neste sistema.

Foi feito o estudo para duas casas com tipologias diferentes, sendo uma moradia isolada de dois pisos e a outro um apartamento situado no terceiro piso. Foi feito um estudo acerca das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento, arrefecimento e energia primária. Para esse estudo foram feitas duas condições, na primeira o aquecimento era feito por um recuperador a lenha e o arrefecimento era feito por uma bomba de calor tipo ar-água, na segunda condição, tanto o aquecimento como o arrefecimento eram realizados pela bomba de calor ar-água. Nas duas condições e nas duas casas os requisitos estabelecidos pelo REH para as necessidades nominais de energia foram cumpridos.

Foi feito também um estudo acerca da fatura energética, para este estudo foi considerado um sistema de esquentador a GPL canalizado para produção de AQS, mas as bombas de calor também são capazes de produzir AQS. É possível ver que para o segundo caso de estudo com a solução de aquecimento de recuperador de calor com o arrefecimento com bomba de calor que o período de retorno de investimento é elevado. Neste estudo foi considerado que era necessário comprar o recuperador de calor e foi considerado esse investimento, só que grande parte das casas já possuem um sistema de aquecimento, pelo que só seria necessário comprar para climatizar a habitação uma bomba de calor, no caso do estudo, do tipo ar-água. Para além disso, uma forma de diminuir as necessidades de energia primária e que irá ajudar a diminuir os custos de operação de bomba de calor é a instalação de painéis fotovoltaicos, pois a bomba de calor pode operar com a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

Bibliografia

Almeida, D., setembro de 2015. “Câmara frigorífica com atmosfera controlada para conservação de produtos frutícolas refrigerados”. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

BAXI, maio 2017. “Catálogo Tabela 2017”

Belo, J., outubro de 2013. “Estudo de uma Bomba de Calor”. Técnico de Lisboa, Lisboa.

Cardoso, S., 17 de julho de 2018. “Condensação de paredes interiores: formação, identificação, resolução”. [Online] Available at: <https://www.homify.pt/profissionais/81341/silvia-cardoso-homify>

Coleman, G., 2001. “Condensação - Fundamentos”. [Online] Available at: <https://5cidade.files.wordpress.com/2008/04/condensacao.pdf>

Dufrio Refrigeração, 2017. “Por que é importante manter o conforto térmico no ambiente de trabalho?”. [Online] Available at: <https://www.dufrio.com.br/blog/ar-condicionado/comercial/por-que-e-importante-manter-o-conforto-termico-no-ambiente-de-trabalho/> [Acedido em março 2019]

Dunbabin, P., Wickins, C., 2012. “Detailed analysis from the first phase of the Energy Saving Trust’s heat pump field trial”. The Energy Saving Trust, London, UK.

Faria, R., dezembro de 2015. “Análise energética do sistema de aquecimento de água do COPM de Coimbra”. Coimbra.

Gagneja, A. & Pundhir, S., 2016. “Heat Pumps and Its Applications”. Int’l Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS) Vlo. 3, Issue 1.

H&V news, 16 julho 2014. “The benefits of installing fan convectors”. [Online] Available at: <https://www.hvnplus.co.uk/opinion/technology/the-benefits-of-installing-fan-convectors/8673007.article> [Acedido em março 2019]

Horstmeyer, S., 15 de agosto de 2006. “Relative Humidity....Relative to What? The Dew Point Temperature...a better approach”. Steve Horstmeyer, Meteorologist, WKRC TV, Cincinnati, Ohio, USA.

Kerrigan, K., Jouhara, H., O'Donnell, G.E., Ronbinson, A.J., 2013. "A naturally aspirated convector for domestic heating application with low water temperature sources". *Energy and Buildings* 67, pp. 187-194.

Marco e Mario Doninelli, dezembro de 2009. "As Bombas de Calor". *Hidráulica*, Issue 28. Caleffi.

Miara, M., Günther, D., Langner, R., Helmling, S., Wapler, J., 2017. "10 years of heat pumps monitoring in Germany. Outcomes of several monitoring campaigns. From low-energy houses to unretrofitted single-family dwellings". Fraunhofer-Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany.

Myhren, J. & Holmberg, S., 2013. "Performance evaluation of ventilation radiators". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 51, pp. 315-324.

Nepomuceno, M. C. S., 2018. "Desempenho Energético de Edifícios: Parte I - Edifícios de habitação, Documento de apoio às aulas de Física das Construções", v.2, UBI.

Pacheco, C., outubro de 2010. "Impacto dos Sistemas de Climatização e AQS na Certificação Energética de Edifícios no Âmbito do RCCTE: Caso de Estudo". Universidade da Beira Interior, Covilhã.

Portaria nº 349-B/2013. D. R. 1ª Série. 232 (29-11-2013)

Ramos, H., 2007. "Balanço energético em edifícios - Para uma política de energia em Portugal". Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.

Roy, R., Caird, S., Potter, S., 2010. "Getting warmer: a field trial of heat pumps". The Energy Saving Trust, London, UK.

Staffell, I., Brett, D., Brandon, N., Hawkes, A., outubro de 2012. "A review of domestic heat pumps". *Energy & Environmental Science*, Issue 11.

Wargocki, P., 2002. "Ventilation and health in non-industrial indoor environments". *EUROVEN, Indoor Air* 12 (2), pp. 113-128.

Watson, Richard D., Chpman, Kirby S., 2002. "Radiante Heating and Cooling Handbook". McGraw-Hill Handbooks, United States of America.

WP5 Education and Economic Promotion. "Heat pumps". Co2olBricks.

ANEXOS

Anexo A

Este anexo contém para o caso de estudo 1:

- Memória Descritiva do Edifício
- Peças Desenhadas (Plantas, alçados e cortes e definição da envolvente)

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA DE CÁLCULO

1. Introdução

1.1. Âmbito de aplicação

A memória descritiva e justificativa de cálculo que aqui se apresenta diz respeito ao relatório do estudo do comportamento térmico de uma fração autónoma para habitação, constituída por uma moradia unifamiliar isolada de tipologia T3 (2 quartos e 1 escritório), a edificar na freguesia da Covilhã e Canhoso, Concelho do Covilhã. A moradia encontra-se no âmbito do REH.

2. Caracterização da fração autónoma

2.1. Descrição geral e relação com a envolvente

Moradia unifamiliar isolada de tipologia T3, a edificar, com área útil de pavimento de 141,53 m² e pé-direito médio de 2,87 m, com dois pisos acima da cota da soleira e uma garagem exterior à fração. O rés-do-chão inclui a sala, cozinha, despensa, escritório, uma I.S., circulações interiores e caixa de escada com acesso ao 1.º andar. O 1.º andar inclui dois quartos, um vestiário, uma I.S. e circulações interiores. O edifício localiza-se no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 505 m (zona climática I2-V3), sem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a envolvente. A inércia térmica é forte e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão fortemente ventilado, não acessível, com isolante térmico sobre a laje de esteira. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), à exceção de um vão situado a Norte, que possui vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm. Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha. Para produção de AQS serão instalados 3,0 m² de coletores solares térmicos na cobertura e sistema de apoio com esquentador termostático a gás natural. Os sistemas de climatização incluem a utilização de uma caldeira a biomassa para aquecimento, enquanto para arrefecimento não é especificado qualquer equipamento.

2.2. Área útil e pé-direito médio

A área útil da fração autónoma inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores listados no quadro que a seguir se apresenta, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento.

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil (Ap) de 141,53 m² e um pé-direito médio ponderado (Pd) de 2,87 m.

2.3. Ambiente interior, dados climáticos e caracterização de espaços não úteis

2.3.1. Condições de referência de conforto térmico interior

O Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Dec. Lei 118/2013 de 20 de agosto, fixa uma taxa mínima de renovação do ar de 0,4 renovações por hora para garantia da qualidade do ar interior e considera as seguintes condições interiores de conforto de referência: para a estação de aquecimento (inverno) estabelece uma temperatura do ar de 18 °C e para a estação de arrefecimento (verão) estabelece uma temperatura do ar de 25 °C.

2.3.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos foram calculados em função da localização e altitude do local.

2.3.3. Caracterização dos espaços não úteis

Para a delimitação da envolvente da fração autónoma em análise foram assumidas as seguintes premissas relativamente aos espaços não úteis adjacentes:

Cobertura sob desvão 1 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de $b_{tr}=1$.

Cobertura sob desvão 2 (laje de esteira horizontal)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, fortemente ventilado e não acessível, assumindo-se claramente como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de $b_{tr}=1$.

Desvão sanitário

O desvão sanitário, fortemente ventilado e ocupando completamente a área de implantação do edifício, localiza-se inferiormente à fração autónoma em análise e foi admitida como um espaço não útil. Admitindo que o espaço será fortemente ventilado, deverá assumir-se um valor de $b_{tr}=1$.

Garagem

A garagem adjacente à fração autónoma em análise constitui um espaço não habitado, sem aberturas permanentemente abertas (fracamente ventilado), assumindo-se claramente como um espaço não útil. A relação A_i/A_u é de 0,34. De acordo o Despacho nº 15793-K/2003, adota-se um valor de $b_{tr}=1$.

2.4. Definição da envolvente

2.4.1. Delimitação da envolvente

Na delimitação da envolvente foram considerados os elementos da envolvente exterior, os elementos da envolvente interior com requisitos de exterior ($b_{tr} > 0,7$), os elementos da envolvente interior com requisitos de interior ($b_{tr} \leq 0,7$) e os elementos sem requisitos térmicos.

2.5. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior

2.5.1. Paredes exteriores

PRE1 - Parede exterior (Fachadas)

PRE1- Parede exterior (fachada) composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m².°C/W; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica 0,170 m².°C/W; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m².°C/W; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	46,21	43,76	40,97	23,76
U [W/(m ² .°C)]	0,311	0,311	0,311	0,311

2.5.2. Pontes térmicas planas inseridas em paredes exteriores

PPE1 - Ponte térmica plana (Vigas/pilares inseridos na parede PRE1)

PPE1 - Ponte térmica plana (viga/pilar) inserida na parede PRE1, composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) tijolo furado (7 cm) com resistência térmica de 0,19 m².°C/W; 3) isolante térmico XPS (5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 4) pilar ou viga em betão armado (25 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,0 W/(m.°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	4,94	5,18	4,12	2,42
U [W/(m ² .°C)]	0,618	0,618	0,618	0,618

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore inserida na parede PRE1)

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore) inserida na parede PRE1, composta (do interior para a caixa de ar) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) isolante térmico XPS (6 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 3) aparas de madeira aglomeradas com cimento (8 mm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/(m.°C); 4) isolante térmico EPS de alta densidade (33 mm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C);

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,11	1,77	1,44	
U [W/(m ² .°C)]	0,351	0,351	0,351	

2.5.3. Portas exteriores

POE1 - Porta exterior (No acesso principal e cozinha)

POE1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	Norte	Sul	Este	Oeste
Área [m ²]	1,68	1,89		
U [W/(m ² .°C)]	3,30	3,30		

2.5.4. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

Considerou-se a existência das seguintes pontes térmicas lineares da envolvente exterior:

PLB1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO NÃO ÚTIL.

PLC1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PAVIMENTOS INTERMÉDIOS.

PLD1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM COBERTURA SOB DESVÃO NÃO ÚTIL.

PLE1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM VARANDA.

PLF1-LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES VERTICAIS.

PLG1-LIGAÇÃO DA FACHADA COM CAIXA DE ESTORE.

PLH1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PADIEIRA, OMBREIRA E PEITORIL.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares:

Elemento	B [m]	ψ [W/m.°C]
PLB1	34,31	0,75
PLC1	64,39	0,50
PLD1	36,76	1,00
PLE1	2,11	0,55
PLF1	40,12	0,50
PLG1	12,40	0,30
PLH1	46,94	0,20

2.6. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior

2.6.1. Paredes da envolvente interior

PRI1 - Parede em contacto com espaço não útil (garagem)

PRI2 - Parede interior em contacto com espaço não útil (garagem), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m².°C/W; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica 0,170 m².°C/W; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m².°C/W; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m.°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	16,12
U [W/(m ² .°C)]	0,303
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

PRI2 - Parede em contacto com espaço não útil (desvão)

PRI2 - Parede interior em contacto com espaço não útil (garagem), composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,40 W/(m.°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m².°C/W; 3) isolante térmico XPS (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m.°C); 4) espaço de ar não ventilado (2 cm) com resistência térmica 0,170 m².°C/W; 5) tijolo furado

(15 cm) com resistência térmica $0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m^2]	4,06
U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,303
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

2.6.2. Portas da envolvente interior

POI1 - Porta da envolvente interior (garagem)

POI1 - Porta metálica de batente com aro constituído por perfis quinados de chapa de aço electrozincado de 2 mm de espessura soldados entre si, sem envidraçados e com aplicação de borracha ou equivalente em todo o perímetro.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m^2]	1,89
U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	3,30
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

2.6.3. Pavimentos sobre espaços não úteis

PVI1 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PVI1 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) ladrilhos cerâmicos (1,0 cm) e coeficiente de condutibilidade térmica de $1,3 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,70 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 5) isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m^2]	65,66
$U_{asc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,641
$U_{desc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,584
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

PVI2 - Pavimento sobre espaço não útil (desvão sanitário)

PVI1 - Pavimento interior sobre espaço não útil (cave), composto (de cima para baixo) por: 1) acabamento de piso em pavimento flutuante (1,0 cm) com resistência térmica de $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,11 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 2) argamassa de regularização (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $1,8 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 3) betão de agregados leves de argila expandida (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,70 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 4) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 5) isolante térmico XPS (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m^2]	12,08
$U_{asc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,601
$U_{desc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,551
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

2.6.4. Coberturas sob espaços não úteis

CBI1 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 1)

CBI1 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m^2]	67,27
$U_{asc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,275
$U_{desc.}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	0,264
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

CBI2 - Cobertura sob espaço não útil (desvão 2)

CBI1 - Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) isolante térmico XPS (12 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$; 2) laje em betão armado (20 cm) com resistência térmica de $0,15 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (ascendente) e $0,16 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ (descendente); 3) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de $0,40 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	11,10
$U_{asc.}$ [W/(m ² .°C)]	0,275
$U_{desc.}$ [W/(m ² .°C)]	0,264
Parâmetro b_{tr} do ENU	1,00

2.6.5. Pontes térmicas lineares da envolvente interior

Foram identificadas as seguintes situações de pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

PLB1i- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PAVIMENTO SOBRE ESPAÇO NÃO ÚTIL.

PLD1i- LIGAÇÃO DA FACHADA COM COBERTURA SOB DESVÃO NÃO ÚTIL.

PLE1i- LIGAÇÃO DA FACHADA COM VARANDA.

PLF1i- LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES VERTICAIS.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$:

Elemento	B [m]	ψ [W/m.°C]	b_{tr}
PLB1i	6,97	0,75	1,00
PLD1i	7,69	1,00	1,00
PLE1i	4,48	0,55	1,00
PLF1i	5,73	0,50	1,00

2.7. Parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior

2.7.1. Identificação dos vãos envidraçados

A fração autónoma em estudo possui um total de 11 vãos envidraçados, identificados individualmente com as siglas EEV1 a EEV11.

2.7.2. Parâmetros dos vãos envidraçados

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores

EEV1 a EEV10 - Vãos envidraçados exteriores verticais simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm, sem quadrícula e proteção exterior com

persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), com fator solar de 0,04 com o sistema 100% ativo e U_{wdn} de 2,1 W/(m².°C).

Tratando-se de uma habitação com ocupação noturna importante, com vãos envidraçados dotados de sistema de oclusão, foi quantificado o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite recorrendo à publicação do LNEC ITE50. Admitiu-se na estimativa de U_{wdn} que o sistema de oclusão noturna confere baixa permeabilidade ao ar quando encerrado.

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,75.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para estes elementos.

Identificação	Área total, em [m ²]	U_{wdn} , em [W/(m ² .°C)]
EEV1 a EEV10	17,50	2,10

EEV11 - Vão envidraçado exterior

EEV11 - Vão envidraçado exterior vertical simples, com caixilharia plástica, sem classificação, com vidro triplo incolor 5+10+4+10+4 mm, sem quadrícula e sem proteção exterior, com fator solar de 0,72 e U_{wdn} de 1,68 W/(m².°C).

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,72.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para este elemento.

Identificação	Área total, em [m ²]	U_w , em [W/(m ² .°C)]
EEV11	1,65	1,68

2.8. Classe de inércia térmica

A fração autónoma possui uma classe de inércia térmica FORTE.

2.9. Taxa de renovação do ar

A taxa de renovação de ar foi calculada com recurso à aplicação desenvolvida pelo LNEC. Mais se informa que para efeitos dos requisitos mínimos foi obtida uma classificação satisfatória.

2.10. Parâmetros térmicos do sistema convencional de produção de AQS

O sistema de apoio convencional para AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

A tubagem de distribuição de AQS terá isolante térmico em espuma elastomérica à base de borracha sintética com resistência térmica de pelo menos $0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

2.11. Parâmetros do sistema de aproveitamento de energias renováveis

Serão colocados $3,0 \text{ m}^2$ de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 300 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} é de 900 kWh/ano, sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS. O cálculo foi do E_{ren} foi efetuado com recurso ao programa Solterm do INETI conforme se apresenta no Anexo V. Os coletores são certificados pela CERTIF e serão instalados por instaladores credenciados pela DGEG.

2.12. Parâmetros térmicos do sistema de climatização

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de uma caldeira a biomassa com uma eficiência de conversão de 0,9. A potência da caldeira prevista será inferior a 25 kW.

Para climatização (arrefecimento) não está previsto em projeto qualquer equipamento.

3. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar do edifício

3.1. Verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica

Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.

Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.

Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas mecânicos.

3.2. Verificação do cumprimento dos limites das necessidades energéticas

Como resultado da aplicação das folhas de cálculo para verificação detalhada (que constam no Anexo VI), obtiveram-se os seguintes valores para as necessidades energéticas:

Fração autónoma	A_p [m ²]	Taxa renov. (<i>Rph</i>)	<i>Nic</i>	<i>Ni</i>	<i>Nvc</i>	<i>Nv</i>	<i>Ntc</i>	<i>Nt</i>
			[kWh/(m ² .ano)]				[kWh _{ep} /(m ² .ano)]	
Moradia	141,53	0,52	65,7	90,8	7,6	15,2	18,09	130,7

Os resultados apresentados confirmam o cumprimento de todos os limites das necessidades energéticas exigidos pelo REH.

3.3. Classe energética e taxa de emissão de CO₂

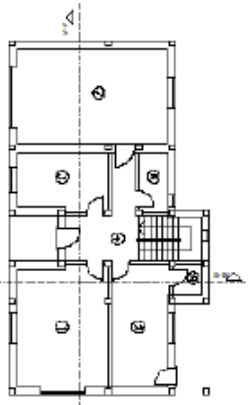
Da análise efetuada verifica-se que a moradia terá uma *Classificação Energética A+* e uma emissão anual estimada de **0,50 toneladas equivalentes de CO₂**.

Plantas, alçados e cortes

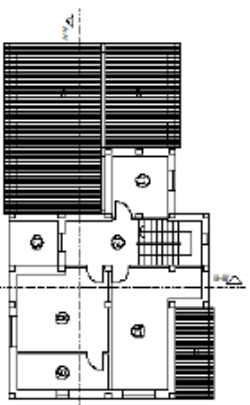


LEGENDA (distribuição):

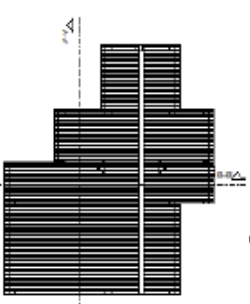
- PISO 0**
- ① - Sala de estar (25,05 m²)
 - ② - Cozinha (16,23 m²)
 - ③ - Escritório (11,98 m²)
 - ④ - Circulações (17,91 m²)
 - ⑤ - Instalações sanitárias (3,94 m²)
 - ⑥ - Despensa (2,04 m²)
 - ⑦ - Corredor (33,29 m²)
- PISO 1**
- ⑧ - Quarto (17,00 m²)
 - ⑨ - Varanda (7,44 m²)
 - ⑩ - Quarto (18,47 m²)
 - ⑪ - Instalações sanitárias (7,51 m²)
 - ⑫ - Circulações (13,98 m²)
 - ⑬ - Varanda (25,00 m²)



Planta PISO 0

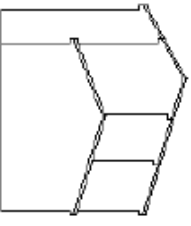


Planta PISO 1

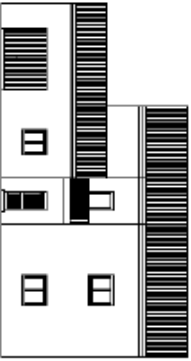


Planta Cobertura

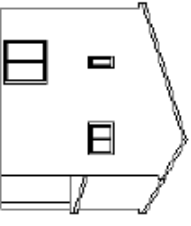
1:200



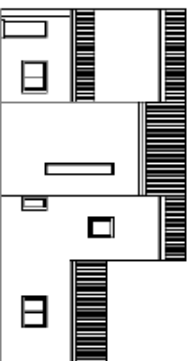
Alçado Oeste (Esquerda)



Alçado Sul (Frente)

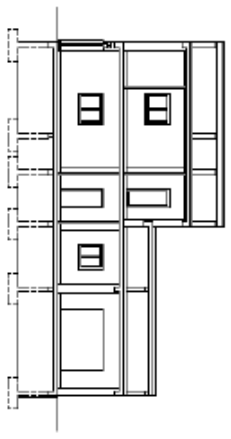


Alçado Este (Direita)

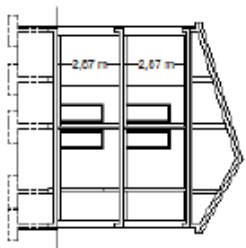


Alçado Norte (Traseira)

1:200



CORTE A-A'

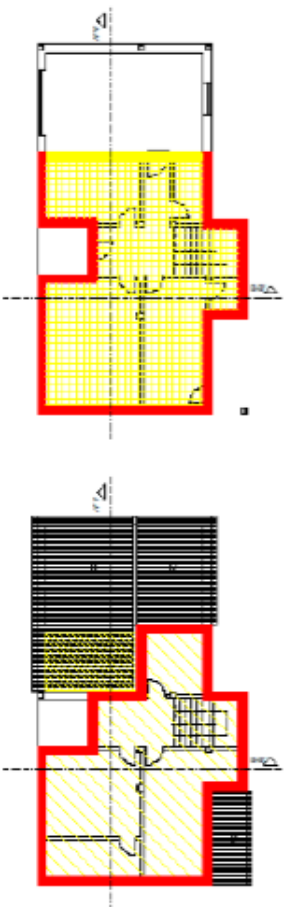


CORTE B-B'

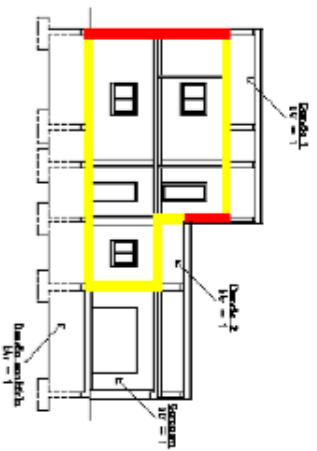
1:200

1

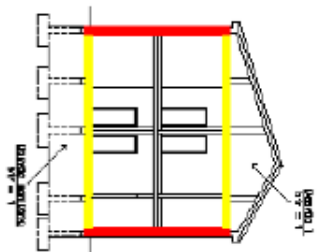
Definição da envolvente



1:200



Envolvente CORTE A-A'



Envolvente CORTE B-B'

1:200

LEGENDA (envolventes):

- Envolvente exterior
- Envolvente interior com requisitos de exterior
- Envolvente interior com requisitos de interior
- Envolvente semi requisitos
- Em planta o pavimento (com o respectivo cor)
- Em planta a cobertura Piso 0 (com o respectiva cor)
- Em planta a cobertura Piso 1 (com o respectiva cor)

Anexo B

Este anexo contém para o Caso de Estudo 2:

- Memória Descritiva do Edifício
- Peças Desenhadas (Plantas, alçados e cortes e definição da envolvente)

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA DE CÁLCULO

1. Introdução

1.1. Âmbito de aplicação

A memória descritiva e justificativa de cálculo que aqui se apresenta diz respeito ao relatório do estudo do comportamento térmico de uma fração autónoma unifamiliar para habitação, parte integrante de uma moradia multifamiliar, de tipologia T3, a edificar na freguesia da Covilhã e Canhoso, Concelho do Covilhã. A moradia encontra-se no âmbito do REH.

2. Caracterização da fração autónoma

2.1. Descrição geral e relação com a envolvente

A fração é destinada a uma moradia unifamiliar de tipologia T3, a edificar, com área útil de pavimento de 103,13 m² e pé-direito médio de 2,60 m, com piso único. que inclui a sala, cozinha, despensa, três quartos, duas instalações sanitárias e circulações interiores. O edifício localiza-se no concelho do Covilhã, freguesia da Covilhã e Canhoso, a uma altitude de 590 m (zona climática I3-V3), sem obstruções significativas aos ganhos solares em toda a envolvente. A inércia térmica é média e as soluções de isolamento térmico incluem, em todas as fachadas, paredes duplas de alvenaria de tijolo com isolante ocupando parcialmente a caixa-de-ar. A cobertura é inclinada, com telha lusa cerâmica de cor clara, formada por um desvão bem vedado, acessível e destinado a espaço de arrecadação das respetivas frações autónomas do edifício, com isolante térmico sobre a laje da cobertura. Os vãos envidraçados são simples, de caixilharia em PVC da fabricante Caixiave, Série 70 plus, classe A, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior). Prevê-se ventilação natural, com exaustor na cozinha. Para produção de AQS serão instalados 3,90 m² de coletores solares térmicos na cobertura e sistema de apoio com esquentador termostático a gás propano. Os sistemas de climatização incluem a utilização na sala de uma caldeira a biomassa para aquecimento e bomba de calor para os quartos, enquanto para o arrefecimento é especificado utilização de bomba de calor (ar condicionado tipo multi-split) para os quartos.

2.2. Área útil e pé-direito médio

A área útil da fração autónoma inclui todos os compartimentos, circulações interiores, instalações sanitárias e arrumos interiores, para os quais se requerem as condições de referência de conforto térmico. O pé-direito corresponde ao valor ponderado em função da área de cada compartimento descontado o teto falso de gesso cartonado.

As medições efetuadas permitiram concluir que a fração autónoma apresenta uma área útil (Ap) de 103,13 m² e um pé-direito médio ponderado (Pd) de 2,60 m.

2.3. Ambiente interior, dados climáticos e caracterização de espaços não úteis

2.3.1. Condições de referência de conforto térmico interior

O Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), aprovado pelo Dec. Lei 118/2013 de 20 de agosto, complementado pela Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro, fixa uma taxa mínima de renovação do ar de 0,4 renovações por hora para garantia da qualidade do ar interior e considera as seguintes condições interiores de conforto de referência: para a estação de aquecimento (inverno) estabelece uma temperatura do ar de 18 °C e para a estação de arrefecimento (verão) estabelece uma temperatura do ar de 25 °C.

2.3.2. Dados climáticos no local de implantação

Os dados climáticos foram calculados em função da localização e altitude do local.

2.3.3. Caracterização dos espaços não úteis

Para a delimitação da envolvente da fração autónoma em análise foram assumidas as seguintes premissas relativamente aos espaços não úteis (ENU) adjacentes:

Desvão da cobertura (laje de cobertura)

O desvão localizado superiormente à fração autónoma em análise constitui um espaço vedado (f) e amplamente acessível destinado a arrecadação das respetivas frações autónomas do edifício, assumindo-se um valor de $b_{tr} = 0,9$.

Caixa de escadas

O ENU relativo a caixa de escadas, o qual por óbvio constitui um espaço não habitado e, em virtude da ligação permanente entre todos os pavimentos intermédios do edifício, admite-se que o espaço será fortemente ventilado (F), assumindo-se um valor de $b_{tr} = 1,0$.

Circulação comum

O ENU relativo a circulação comum do edifício no pavimento de referência, esse espaço não habitado necessário ao acesso das frações autónomas aos elevadores e caixa de escada, por possuir ligação direta a caixa destinada aos elevadores admite-se que o espaço será fortemente ventilado (F), assumindo-se um valor de $b_{tr} = 0,50$.

2.4. Definição da envolvente

2.4.1. Delimitação da envolvente

Na delimitação da envolvente foram considerados os elementos da envolvente exterior, os elementos da envolvente interior com requisitos de exterior ($b_{tr} > 0,7$), os elementos da envolvente interior com requisitos de interior ($b_{tr} \leq 0,7$) e os elementos sem requisitos térmicos.

2.5. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca exterior

2.5.1. Paredes exteriores

PRE1 - Parede exterior (Fachadas)

Parede exterior (fachada) composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque tradicional (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,43 W/(m°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m²°C/W; 3) isolante térmico SPACELOFT (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 4) espaço de ar não ventilado (1,5 cm) com resistência térmica 0,170 m²°C/W; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m²°C/W; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	SE	SW	NW
Área [m ²]	8,33	32,01	13,17
U [W/(m ² °C)]	0,269	0,269	0,269

2.5.2. Pontes térmicas planas inseridas em paredes exteriores

PPE1 - Ponte térmica plana (Vigas/pilares inseridos na parede PRE1)

Ponte térmica plana (viga/pilar), inserida na parede PRE1, é composta (do interior para o exterior) por: 1) estuque projetado (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,43 W/(m°C); 2) tijolo furado (4 cm) com resistência térmica de 0,15 m²°C/W; 3) isolante térmico SPACELOFT (7 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 4) pilar ou viga em betão armado (20 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 2,3 W/(m°C); 5) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	SE	SW	NW
Área [m ²]	1,89	4,12	1,20
U [W/(m ² °C)]	0,197	0,197	0,197

PPE2 - Ponte térmica plana (Caixa de estore inserida na parede PRE1)

Ponte térmica plana (Caixa de estore), inserida na parede PRE1, composta (do interior para a caixa de ar) por: 1) estuque projetado (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,43 W/(m°C); 2) isolante térmico SPACELOFT (3 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 3) aparas de madeira aglomeradas com cimento (8 mm) com

coeficiente de condutibilidade térmica de 0,23 W/(m°C); 4) isolante térmico EPS de alta densidade (66 mm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,037 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Orientação	SE	SW	NW
Área [m ²]	0,84	0,42	0,99
U [W/(m ² .°C)]	0,242	0,242	0,242

2.5.3. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

Considerou-se a existência das seguintes pontes térmicas lineares da envolvente exterior:

PLC1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PAVIMENTOS INTERMÉDIOS.

PLD1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM COBERTURA SOB DESVÃO NÃO ÚTIL.

PLE1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM VARANDA.

PLF1-LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES VERTICAIS.

PLG1-LIGAÇÃO DA FACHADA COM CAIXA DE ESTORE.

PLH1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PADIEIRA, OMBREIRA E PEITORIL.

A tabela seguinte apresenta os valores obtidos para as pontes térmicas lineares:

Elemento	B [m]	ψ [W/m°C]
PLC1	17,74	0,75
PLD1	28,69	1,00
PLE1	11,04	0,55
PLF1	33,80	0,50
PLG1	6,10	0,30
PLH1	36,50	0,25

2.6. Parâmetros térmicos dos elementos da envolvente opaca interior

2.6.1. Paredes da envolvente interior

PR11 - Parede em contacto com espaço não útil (caixa de escadas)

Parede interior em contacto com espaço não útil (caixa de escadas) composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque projetado (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade

térmica de 0,43 W/(m°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m²C/W; 3) isolante térmico SPACELOFT (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 4) espaço de ar não ventilado (1,5 cm) com resistência térmica 0,170 m²C/W; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m²C/W; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	11,22
U [W/(m ² °C)]	0,263
Parâmetro b _{tr} do ENU	1,00

PRI2 - Parede em contacto com espaço não útil (circulação comum)

Parede interior em contacto com espaço não útil (circulação comum) composta (do interior para o espaço não útil) por: 1) estuque projetado (1,5 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,43 W/(m°C); 2) tijolo furado (11 cm) com resistência térmica de 0,27 m²C/W; 3) isolante térmico SPACELOFT (4 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 4) espaço de ar não ventilado (1,5 cm) com resistência térmica 0,170 m²C/W; 5) tijolo furado (15 cm) com resistência térmica 0,39 m²C/W; 6) Reboco exterior em argamassa tradicional (2 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 1,3 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	2,04
U [W/(m ² °C)]	0,263
Parâmetro b _{tr} do ENU	0,50

POI1 - Porta da envolvente interior (circulação comum)

Porta fabricante Vicaima, modelo Portaro EI30, estrutura perimetral em réguas de madeira densa, interior aglomerado de média densidade, faces em placas de fibra de madeira (MDF) orla em madeira densa, folha de madeira pintada e com espessura de 44 mm.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	2,10
U [W/(m ² °C)]	2,10
Parâmetro b _{tr} do ENU	0,50

Coberturas sob espaços não úteis

CBI1 - Cobertura sob espaço não útil (desvão)

Cobertura sob desvão não útil, formando laje de esteira horizontal, constituída (de cima para baixo) por: 1) piso de madeira - resinosas densas (1 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,023 W/(m°C); 2) betão isolante resistente de inertes de argila expandida (8 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,046 W/(m°C); 3) isolante térmica SPACELIFT (6 cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,015 W/(m°C); 4) laje de betão armado (18 cm) com resistência térmica de 0,078 m²C/W (ascendente) e 0,078 m²C/W (descendente); 5) espaço não ventilado (5 cm) com resistência térmica de 0,110 m²C/W (ascendente) e 0,110 m²C/W (descendente); 6) placa de gesso cartonado (2cm) com coeficiente de condutibilidade térmica de 0,25 W/(m°C).

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para o elemento em análise.

Área [m ²]	109,79
U _{asc.} [W/(m ² °C)]	0,213
U _{desc.} [W/(m ² °C)]	0,207
Parâmetro b _{tr} do ENU	0,90

2.6.5. Pontes térmicas lineares da envolvente interior

Foram identificadas as seguintes situações de pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis:

PLC1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM PAVIMENTO INTERMÉDIO.

PLD1- LIGAÇÃO DA FACHADA COM COBERTURA SOB DESVÃO.

PLF1i- LIGAÇÃO ENTRE DUAS PAREDES VERTICAIS.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para as pontes térmicas lineares da envolvente interior em paredes que confinam com espaços não úteis:

Elemento	B [m]	Ψ [W/m°C]	b _{tr}
PLC1	4,58	0,75	1,00
PLD1	4,58	1,00	1,00
PLF1	2,60	0,50	1,00
PLC2	1,69	0,75	0,50
PLD2	1,69	1,00	0,50

PLF2	2,60	0,50	0,50
------	------	------	------

2.7. Parâmetros térmicos dos vãos envidraçados da envolvente exterior

2.7.1. Identificação dos vãos envidraçados

A fração autónoma em estudo possui um total de 7 vãos envidraçados, identificados individualmente com as siglas EEV1 a EEV7.

2.7.2. Parâmetros dos vãos envidraçados

EEV1 a EEV7 - Vãos envidraçados exteriores

EEV1 a EEV7 - Vãos envidraçados exteriores verticais simples, com caixilharia plástica, Caixaive Série 70 plus, permeabilidade do ar igual a 4, estanqueidade à água E 1050 e resistência ao vento C5, com vidro duplo incolor 6+16+5 mm, sem quadrícula e proteção exterior com persianas de réguas plásticas de cor clara (caixa de estore interior), com fator solar de 0,04 com o sistema 100% ativo e U_{wdn} de 1,11 W/(m².°C).

Tratando-se de uma habitação com ocupação noturna importante, com vãos envidraçados dotados de sistema de oclusão, foi quantificado o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite através de cálculo específico que consta nas anotações anexas. Admitiu-se na estimativa de U_{wdn} que o sistema de oclusão noturna confere baixa permeabilidade ao ar quando encerrado.

Os parâmetros geométricos necessários para a quantificação dos ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados nas estações de aquecimento e de arrefecimento foram obtidos a partir das peças desenhadas. Não existem obstruções de horizonte significativas nas várias orientações.

Para a determinação do fator solar do vão nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) foram efetuadas as devidas correções tendo em conta que o fator solar do vidro é de 0,75.

O Quadro seguinte resume os valores obtidos para estes elementos.

Identificação	Área total [m ²]	U_{wdn} [W/(m ² °C)]
EEV1 a EEV7	11,71	1,11

2.8. Classe de inércia térmica

A fração autónoma possui uma classe de inércia térmica MÉDIA.

2.9. Taxa de renovação do ar

A taxa de renovação de ar foi calculada com recurso à aplicação desenvolvida pelo LNEC. Mais se informa que para efeitos dos requisitos mínimos foi obtida uma classificação satisfatória.

2.10. Parâmetros térmicos do sistema convencional de produção de AQS

O sistema de apoio convencional para AQS previsto em projeto é constituído por um esquentador termostático a gás natural com eficiência de 0,92.

A tubagem de distribuição de AQS terá isolante térmico em espuma elastomérica à base de borracha sintética com resistência térmica de pelo menos $0,25 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

2.11. Parâmetros do sistema de aproveitamento de energias renováveis

Serão colocados $3,90 \text{ m}^2$ de coletores solares planos de circulação forçada, com um depósito de acumulação de 200 l colocados no interior e na posição vertical. A contribuição anual E_{ren} é de 1.440 kWh/ano , sendo que toda a energia é utilizada para produção de AQS. O cálculo foi do E_{ren} foi efetuado com recurso ao programa Solterm do INETI. Os coletores são certificados pela CERTIF e serão instalados por instaladores credenciados pela DGEG.

2.12. Parâmetros térmicos do sistema de climatização

Para climatização (aquecimento) está prevista a instalação de uma caldeira a biomassa com uma eficiência de conversão de 0,93. A potência da caldeira prevista será inferior a 25 kW (6 kW) com fração servida equivalente a 35%.

Para climatização (aquecimento) está previsto a instalação de aparelho de ar condicionado (bomba de calor) do tipo multi-split fabricante Sanyo, referência SAP-CMRV 3146EH, potência 9,4 kW, eficiência normal (COP) de 4,61 W/W com fração servida equivalente a 65%.

Para climatização (arrefecimento) está previsto a instalação de aparelho de ar condicionado (bomba de calor) do tipo multi-split fabricante Sanyo, referência SAP-CMRV 3146EH, potência 8,0 kW, eficiência normal (EER) de 4,64 W/W com fração servida equivalente a 100%.

3. Verificação do cumprimento da conformidade regulamentar do edifício

3.1. Verificação do cumprimento dos requisitos de qualidade térmica

Foram cumpridos os requisitos quanto aos elementos opacos e envidraçados.

Foram cumpridos os requisitos mínimos relativos a ventilação.

Foram cumpridos os requisitos mínimos quanto a eficiência mínima dos sistemas técnicos.

3.2. Verificação do cumprimento dos limites das necessidades energéticas

Como resultado da aplicação das folhas de cálculo para verificação detalhada (que constam no Anexo VI), obtiveram-se os seguintes valores para as necessidades energéticas:

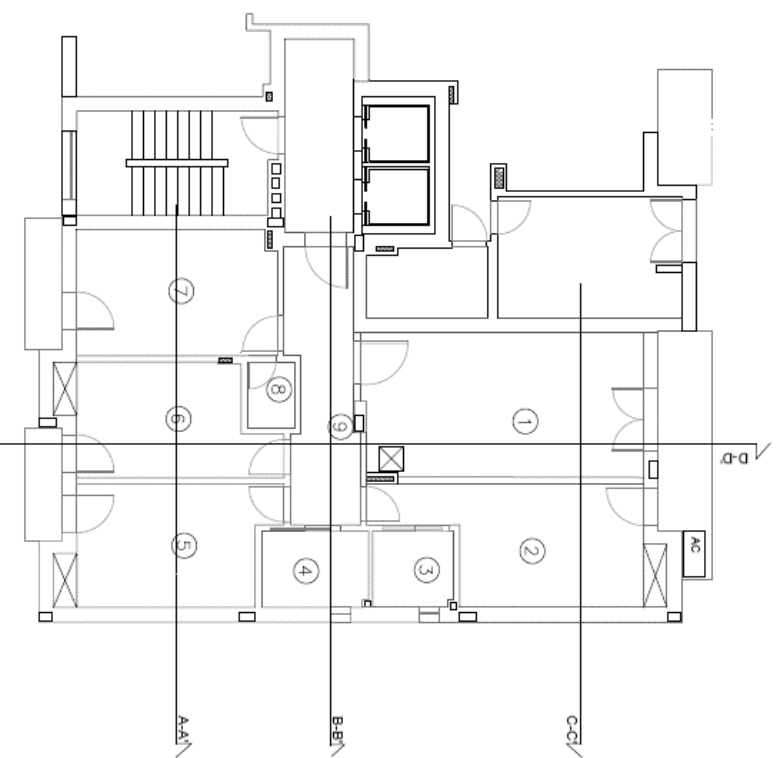
Fração autónoma	A_p [m ²]	Taxa renov. (Rph)	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt
			[kWh/(m ² .ano)]				[kWh _{ep} /(m ² .ano)]	
Moradia	103,13	0,61	43,67	63,11	8,46	12,94	29,83	91,67

Os resultados apresentados confirmam o cumprimento de todos os limites das necessidades energéticas exigidos pelo REH.

3.3. Classe energética e taxa de emissão de CO₂

Da análise efetuada verifica-se que a moradia terá uma *Classificação Energética A* e uma emissão anual estimada de *0,50 toneladas equivalentes de CO₂*.

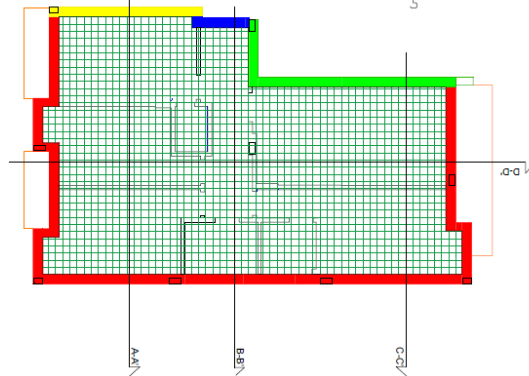
Plantas, alçados e cortes



- Planta baixa apartamento
- ① - Sala de estar (23,62m²)
 - ② - Quarto (16,50 m²)
 - ③ - Instalações sanitárias (3,60 m²)
 - ④ - Instalações sanitárias(4,78 m²)
 - ⑤ - Quarto (14,42 m²)
 - ⑥ - Quarto (12,96 m²)
 - ⑦ - Cozinha (14,71 m²)
 - ⑧ - Despensa (1,84 m²)
 - ⑨ - Circulação (10,70 m²)

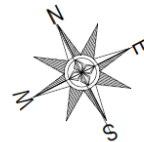
Planta Baixa Apartamento
1:100

Envolvente do Pavimento 1:100 Definição da envolvente



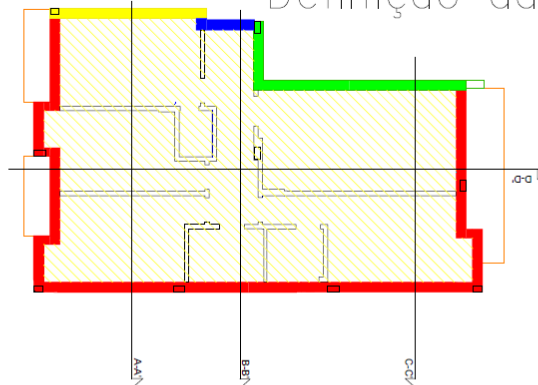
LEGENDA (envolvente):

- █ Envolvente exterior
- █ Envolvente interior com requisitos de exterior
- █ Envolvente interior com requisitos de interior
- █ Envolvente sem requisitos
- Em planta o pavimento (com a respectiva cor)
- Em planta a cobertura Piso 0 (com a respectiva cor)



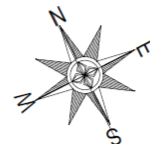
3.2

Envolvente da Cobertura 1:100 Definição da envolvente



LEGENDA (envolvente):

- █ Envolvente exterior
- █ Envolvente interior com requisitos de exterior
- █ Envolvente interior com requisitos de interior
- █ Envolvente sem requisitos
- Em planta o pavimento (com a respectiva cor)
- Em planta a cobertura Piso 0 (com a respectiva cor)



3.3