



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Dissertação

Ano Letivo 2015/2016

**Estudo energético de hotel turístico e implementação de
sistemas de energias renováveis**

Autores:

João Pedro Vales Costa
(up201402690@fe.up.pt)

Orientador:

Prof. Ana Isabel Palmero Marrero

Data de entrega: 01/07/2016

Agradecimentos

Um muito obrigado á Professora Ana Palmero pela forma como me ajudou durante todo o semestre, sem a qual não teria sido possível terminar esta dissertação. Com o seu conhecimento e a sua guia foi possível aprofundar significativamente este projeto.

Gostaria de agradecer também a todos os que fizeram parte da realização deste projeto, principalmente à professora Isabel Martín da Universidade de La Laguna (Espanha) e ao diretor do hotel Tigaiga, pela sua disponibilidade e interesse no desenvolvimento deste projeto.

Um voto de agradecimento aos Engenheiros Szabolcs Varga e João Soares, por disponibilizarem espaço, recursos e conhecimento durante todo o semestre de realização deste trabalho.

Gostava de agradecer á minha família por estar sempre presente e me incentivar a fazer sempre melhor quer nas horas boas como nas más.

Por fim, gostava de agradecer aos meus colegas pela ajuda que me deram e pela forma como me ajudaram a aliviar o stress, sendo assim possível dar sempre a volta por cima a todos os problemas inerentes a este tipo de trabalho.

Este trabalho não é só meu mas de todos os que participaram direta ou indiretamente na sua realização.

A todos um muito obrigado.

Resumo

Neste projeto é efetuada a análise energética de um edifício, mais concretamente de um hotel situado na ilha espanhola de Tenerife, tendo como objetivo determinar as suas necessidades energéticas, assim como avaliar a possível implementação de diferentes sistemas renováveis. Neste trabalho será efetuado um estudo das cargas de aquecimento e arrefecimento, considerando as características próprias do hotel bem como a climatologia onde este se encontra

Para isto é utilizado o *software* TRNSYS que permite efetuar este estudo em regime transiente, sendo apenas necessário criar o edifício e definir detalhadamente todas as características da sua construção. Após a definição de todos os elementos envolvidos na modelação do hotel e da caracterização dos ganhos internos de cada uma das zonas, são efetuadas as simulações.

O estudo das necessidades de aquecimento e arrefecimento foram efetuadas para um período anual. Este estudo permitiu estimar potência dos sistemas renováveis a instalar de forma a torná-lo num edifício de necessidades energéticas nulas (NZEB), algo que não se verificou. Apesar da redução das necessidades energéticas obtida pela implementação das soluções passivas, os valores da utilização energética continuavam em valores muito elevados. Mesmo com a instalação dos sistemas renováveis (painéis fotovoltaicos e bomba de calor) para a produção de energia, não foi possível equilibrar as parcelas produção-consumo, sendo que a produção obtida seria 180 MWh/ano e o consumo energético seria 1143 MWh/ano.

Este projeto foi realizado de forma a satisfazer as exigências energéticas da diretiva europeia 2010/31/EU [1], relativa ao desempenho energético dos edifícios, tanto presentes como futuras.

Abstract

In this project its made an energy analysis of a building, an hotel placed in the spanish island of Tenerife, with the purpose of determining its energetic needs, as well as evaluating the possible implementation of different renewable energy systems. In this project there will be a study made about the heating and the cooling needs, considering all the hotel's characteristics as well as the weather where it is placed.

To do so, TRNSYS software will be used and it allows us to conduct a study in transient regime, needing only to create the building and define minutely all its construction characteristics. After defining all the elements involved in the modeling of the building and defining the internal gains of each zone, the simulations will begin.

The study of the cooling and heating needs will be done for an annual period. This study allowed us to estimate the power of the renewable systems to install in order for it to become a net zero energy building (NZEB), which wasn't verified. Although the reduction in the energetic needs obtained through the implementation of the passive solutions, the values of the energetic usage maintained high. Even with the installation of the renewable systems (photovoltaic panels and heat pump) to produce energy, it wasn't possible to balance both production-consumption in similar values, with the production being 180 MWh/ano and the energetic consumption 1143 MWh/ano.

This project was done in order to satisfy all the demands of the european directive 2010/31/EU [1], regarding the energetic performance of buildings, present ones as well as future's.

Índice

1. Introdução.....	1
2. Análise teórica.....	3
2.1 Panorama Europeu de energias renováveis	3
2.1.1 Produção Primária e consumo final de energia.....	4
2.1.2 Energia para aquecimento e arrefecimento.....	5
2.1.3 Eficiência energética dos edifícios.....	7
2.1.4 Condições climatológicas na envolvente do hotel	8
2.2 Coletores solares.....	9
2.2.1 Coletores solares térmicos	9
2.2.2 Painéis fotovoltaicos.....	13
2.2.3 Coletor solar híbrido	15
2.3 Bombas de calor.....	17
2.3.1 Ciclo de refrigeração/aquecimento.....	17
2.3.2 Bomba de calor a ar.....	18
2.3.3 Bombas de calor geotérmicas	19
2.3.4 Bomba de calor água-água	20
3 Caso de estudo: Hotel Tigaiga	21
3.1 Descrição do Hotel	21
3.2 Equipamentos existentes.....	23
3.3 Materiais de construção	24
4 Modelação do ficheiro TRNSYS	27
4.1 Caracterização do hotel	27
4.2 <i>Simulation Studio</i>	30
4.2.1 Modelação do edifício	30
5 Resultados obtidos	33
5.1 Dados meteorológicos.....	33
5.2 Cálculo das necessidades energéticas	35
5.2.1 Temperaturas interiores.....	37
5.2.2 Necessidades de arrefecimento	41
5.2.3 Necessidades de aquecimento.....	46
5.3 Necessidades energéticas totais.....	47
5.4 Redução das necessidades energéticas	48
5.4.1 Soluções Passivas	49
5.4.2 Caso especial	54
5.4.3 Soluções renováveis	55
5.5 Balanço final	58
6 Conclusões.....	63
7 Trabalhos futuros e recomendações	65
8 Referências Bibliográficas	67
9 Anexos.....	71

Índice de Figuras

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DE UTILIZAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS 2000-2012 [5].	4
FIGURA 2 - OBJETIVO ENERGÉTICO EUROPEU [5].	5
FIGURA 3 - EFEITO "SOMBRA CHUVA"[11].	8
FIGURA 4 - COLECTOR PLANO SEM COBERTURA [14].	10
FIGURA 5 - ESQUEMA DE COLECTOR PLANO COM COBERTURA [16].	11
FIGURA 6 - FORMAS DE CAPTAÇÃO SOLAR DE UM COLETOR CONCENTRADOR PARABÓLICO.[17]	12
FIGURA 7 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM COLETOR DE TUBOS DE VÁCUO [18].	13
FIGURA 8 - COMPONENTES DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA PAINEL FOTOVOLTAICO [19].	14
FIGURA 9 - TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS [19].	14
FIGURA 10 - EFICIÊNCIA DAS DIFERENTES CÉLULAS FOTOVOLTAICAS [19].	15
FIGURA 11 - ESQUEMA DE COLETOR SOLAR HÍBRIDO [21].	15
FIGURA 12 - VARIAÇÃO DA POTÊNCIA COM A TEMPERATURA DO PAINEL FOTOVOLTÁICO [22].	16
FIGURA 13 - ESTRUTURA DE PAINEL FOTOVOLTÁICO COM E SEM COBERTURA [22].	16
FIGURA 14 - CICLO DE REFRIGERAÇÃO/AQUECIMENTO [25].	17
FIGURA 15 - ESQUEMA DE UM SISTEMA COM BOMBA DE CALOR AR-AR [26].	18
FIGURA 16 - ESQUEMA DE SISTEMA DE BOMBA DE CALOR GEOTERMAL [26].	19
FIGURA 17 - ESQUEMA DE BOMBA DE CALOR ÁGUA-ÁGUA [28].	20
FIGURA 18 - MAPA DA ILHA DE TENERIFE COM RECORTE DA ZONA ONDE O HOTEL ESTÁ SITUADO.[30]	21
FIGURA 19 - VISTA AÉREA DO HOTEL TIGAIGA.[31]	22
FIGURA 20 - DIVISÃO DAS DIFERENTES ZONAS DA CAVE (PISO CAVE).	28
FIGURA 21 – DIVISÃO DO RÉS-DO-CHÃO DO EDIFÍCIO (PISO 0).	29
FIGURA 22 – DIVISÃO DO PISOS 1, 2 E 3.	29
FIGURA 23 – DIVISÃO DO QUARTO E ULTIMO PISO DO HOTEL.	29
FIGURA 25 - MODELAÇÃO DO FICHEIRO TRNSYS DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS.	31
FIGURA 26 - VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA AMBIENTE E DA HUMIDADE RELATIVA.	33
FIGURA 27 - VARIAÇÃO ANUAL DA RADIAÇÃO INCIDENTE NAS DIFERENTES FACHADAS.	34
FIGURA 28 - GRÁFICO PARA A OBTENÇÃO DAS TEMPERATURAS OPERATIVAS E GAMA DE CONFORTO TÉRMICO [36].	36
FIGURA 29 - VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA INTERIOR DAS ZONAS DO PISO CAVE.	38
FIGURA 30 - VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA INTERIOR DAS ZONAS DO PISO 0.	38
FIGURA 31 - VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA INTERIOR DAS ZONAS DO PISO 1, 2 E 3.	39
FIGURA 32 - VARIAÇÃO ANUAL DA TEMPERATURA INTERIOR DAS ZONAS DO PISO 4.	39
FIGURA 33 - NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO DO PISO CAVE.	43
FIGURA 34 - NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO DO PISO 0.	43
FIGURA 35 - NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO DO PISO 1, 2, E 3.	44
FIGURA 36 - NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO DO PISO 4.	44
FIGURA 37 - NECESSIDADES DE AQUECIMENTO DO PISO CAVE.	46
FIGURA 38 - NECESSIDADES DE AQUECIMENTO DO PISO 4.	47
FIGURA 39 - VISTA AÉREA DO HOTEL COM DELINEAMENTO DAS ZONAS DE COLOCAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS	56
FIGURA A1 - CARTA SOLAR DE TENERIFE [40].	72
FIGURA C1- CATALOGO DA BOMBA DE CALOR EXISTENTE NO HOTEL.	77
FIGURA C2 - CATÁLOGO DO PAINEL FOTOVOLTÁICO ESCOLHIDO [38].	78
FIGURA C3 - CATÁLOGO DA BOMBA DE CALOR AR-AR ESCOLHIDA PARA O PROJETO [41].	79

Índice de Tabelas

TABELA 1 - PERCENTAGEM DE ENERGIAS RENOVÁVEIS USADAS PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO [8].	6
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DAS PAREDES E JANELAS	24
TABELA 3 - DADOS DAS DIFERENTES ZONAS DO HOTEL, SUA ORIENTAÇÃO E PERCENTAGEM DE ENVIDRAÇADOS NAS SUAS FACHADAS.	28
TABELA 4 – DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DO TRNSYS	32
TABELA 5 – DADOS REFERENTES À RESISTÊNCIA TÉRMICA DE DIFERENTES ELEMENTOS [35].	35
TABELA 6 – DADOS REFERENTES À ATIVIDADE METABÓLICA DOS INDIVÍDUOS [35].	35
TABELA 7 – GANHOS INTERNOS DE CADA ZONA DO HOTEL.	37
TABELA 8 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA E DA RADIAÇÃO INCIDENTE NAS ZONAS DURANTE O SOLSTÍCIO DE INVERNO.	40
TABELA 9 - - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA INTERNA E DA RADIAÇÃO INCIDENTE NAS ZONAS DURANTE O SOLSTÍCIO DE VERÃO.	40
TABELA 10 – VARIAÇÃO ANUAL DAS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO DOS PISOS -1 E 0.	41
TABELA 11 – VARIAÇÃO ANUAL DAS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTOS DOS RESTANTES PISOS (1, 2, 3 E 4).	42
TABELA 12 - CONSUMO ENERGÉTICO PARA ARREFECIMENTO TOTAL DO HOTEL.	45
TABELA 13 – NECESSIDADES ENERGÉTICAS MÁXIMAS DE CADA ZONA E VALOR MÁXIMO ANUAL DO HOTEL.	48
TABELA 14 - CONSUMO ENERGÉTICO DE ARREFECIMENTO PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR DE 1,2 [1/h].	50
TABELA 15 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS MÁXIMAS DE CADA ZONA E VALOR MÁXIMO ANUAL PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1.2 [1/h].	50
TABELA 16 - CONSUMO E POTÊNCIA ENERGÉTICA DE ARREFECIMENTO PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1,8 [1/h].	52
TABELA 17 - CONSUMO E POTÊNCIA ENERGÉTICA DE ARREFECIMENTO PARA UM SOMBREAMENTO DA ZONA 0.1.	53
TABELA 18 - CONSUMO E POTÊNCIA PARA AQUECIMENTO.	54
TABELA 19 - PRODUÇÃO E POTÊNCIA INSTALADA DOS PAINÉIS FOTOVOLTÁICOS.	57
TABELA 20 - INFORMAÇÃO DAS BOMBAS E SEU TEMPO DE UTILIZAÇÃO.	60
TABELA 21 - ENERGIA CONSUMIDA POR CADA BOMBA PARA SATISFAZER AS NECESSIDADES ENERGÉTICAS DO HOTEL.	60
TABELA 22 - CONSUMO ELÉTRICO DAS BOMBAS DE CALOR PARA O CASO 1.	61
TABELA 23 - CONSUMO ELÉTRICO DAS BOMBAS DE CALOR PARA O CASO 2.	61
TABELA 24 - RATING DE EFICIÊNCIA PAR HOTÉIS [39].	62
TABELA A1 - EVOLUÇÃO DE ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES RENOVÁVEIS [8].	71
TABELA B1 - VARIAÇÃO MÉDIA MENSAL DAS TEMPERATURAS INTERIORES SEM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO.	73
TABELA B2 - VARIAÇÃO MÉDIA MENSAL DAS TEMPERATURAS INTERIORES COM SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	73
TABELA B3 - NECESSIDADES DE AQUECIMENTO PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 0,6 POR HORA (PISOS CAVE E 0).	74
TABELA B4 - NECESSIDADES DE AQUECIMENTO PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 0,6 POR HORA (PISOS 1, 2, 3 E 4).	74
TABELA B5 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE ARREFECIMENTO MENSAL PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1,2 POR HORA (PISO CAVE E 0).	75
TABELA B6 NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE ARREFECIMENTO MENSAL PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1,2 POR HORA (PISO 1, 2, 3 E 4).	75
TABELA B7 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE ARREFECIMENTO MENSAL PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1,8 POR HORA (PISO CAVE E 0).	76
TABELA B8 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE ARREFECIMENTO MENSAL PARA UMA TAXA DE RENOVAÇÕES DE 1,8 POR HORA (PISOS 1, 2, 3 E 4).	76

Nomenclatura

Acrónimos

COP	Coeficiente de performance	---
CPP	Coletor de placa plana	---
CPC	Coletor concentrador parabólico	---
Meteonorm	<i>Software</i> de obtenção de dados climáticos	---
NZEB	<i>Net zero energy building</i>	---
PV/T	<i>Photovoltaic/ thermal system</i>	---
TRNSYS	<i>Transient System Simulation program (Software de simulação de sistemas em estado transiente)</i>	---

Abreviaturas

clo	Resistência térmica provocada pela roupa	clo
E_aquec	Consumo elétrico para aquecimento	MWh/ano
E_arref	Consumo elétrico para arrefecimento	MWh/ano
E_total	Consumo elétrico total	MWh/ano
E_totalcons	Energia total consumida pelo hotel proveniente de fontes não renováveis	MWh/ano
E_totalprod	Energia renovável produzida pelo hotel	MWh/ano
IT	Radiação global incidente	kWh/m ²
IT_N	Radiação global incidente na fachada Norte	kWh/m ²
IT_S	Radiação global incidente na fachada Sul	kWh/m ²
IT_E	Radiação global incidente na fachada Este	kWh/m ²
IT_O	Radiação global incidente na fachada Oeste	kWh/m ²
IT_H	Radiação global incidente na Horizontal	kWh/m ²
met	Actividade metabólica	met

P_aquec	Potência de aquecimento	kW
P_arref	Potência de arrefecimento	kW
Q_aquec	Necessidades de aquecimento	kWh/mês
Q_arref	Necessidades de arrefecimento	MWh/mês
Q_Total	Necessidades energéticas totais	kW
Sum	Somatório de valores	---
t	Intervalo de tempo	s mês
T_amb	Temperatura ambiente	°C
T_int	Temperatura interior	°C

1. Introdução

Cada vez mais se torna imperativo a redução dos consumos energéticos nos edifícios e consequentemente emissões de gases poluentes para a atmosfera, para isso é necessário que estes estejam dentro dos parâmetros estabelecidos pela união europeia.

Apesar da diretiva europeia de 2010 [1], referente ao desempenho energético dos edifícios, fortalecer a implementação de recursos renováveis a edifícios recentes ou em construção, torna-se também necessário reabilitar os mais antigos e torná-los o mais eficiente possível.

Construído em 1959, o hotel Tigaiga situado na ilha espanhola de Tenerife foi o escolhido para se efetuar um estudo, isto porque a direção do mesmo revela um grande interesse em sistemas sustentáveis e está constantemente á procura de soluções para melhorar a sua rentabilidade. Desta forma será efetuado um estudo das necessidades térmicas do edifício para um ano médio, bem como um estudo dos recursos renováveis que se poderão implementar.

Para a realização do primeiro estudo (necessidades térmicas do edifício) será utilizado o software TRNSYS, que permite verificar as variações de diferentes características térmicas do edifício em regime transiente. Este, em conjunto com o *software* de base de dados meteorológicos Meteonorm, que faz a recolha de dados meteorológicos de uma dada região num certo período de tempo, permite a obtenção dos resultados para um ano típico.

Após uma breve introdução do projeto é efetuado um pequeno estudo teórico (capítulo 2) no qual se encontra um pequeno estudo do panorama energético europeu para energias renováveis, dos diferentes tipos de coletores solares térmicos (suas vantagens e desvantagens), dos diferentes tipos de painel fotovoltaico e das diferentes bombas de calor mais utilizadas para a climatização de edifícios.

No capítulo 3 encontra-se uma breve descrição do hotel, da climatologia do local onde está situado, uma descrição da maquinaria existente e uma análise detalhada dos materiais utilizados na sua construção.

Após se descrever a criação do hotel no *software* TRNSYS (capítulo 4) e efetuadas as simulações das necessidades energéticas, variação da temperatura interna e da radiação

exterior é efetuado o estudo dos recursos renováveis e a sua possível implementação tendo em conta que se pretende suprir a maioria destas necessidades energéticas. A instalação de painéis fotovoltaicos estará relacionada com a área disponível para a sua instalação e poderá ajudar o hotel a reduzir os seus custos elétricos. São sugeridos vários temas que podem dar seguimento à realização deste projeto, podendo levar a um melhor desenvolvimento energético do mesmo.

Sendo que, em ultima instância, serão efetuados os balanços energéticos do hotel de forma a verificar se é um *Net Zero Energy Building* (NZEB) e será efetuado também um estudo da utilização elétrica dos equipamentos, como meio de comparação com os consumos anuais do hotel.

Um *abstract* deste projeto foi enviado para o *International Conference on Solar Energy for Buildings and Industry* (EuroSun 2016), com o título “Energetic analysis of the implementation of renewable energy system in a Canary Island hotel”, já confirmada a sua aprovação. Este congresso irá decorrer na ilha de Palma de Maiorca de 11 a 14 de Outubro de 2016.

2. Análise teórica

2.1 Panorama Europeu de energias renováveis

Atualmente, na maioria dos países, combustíveis fósseis tais como carvão, petróleo ou gás natural são as fontes mais comuns de produção de energia. Apesar de tecnicamente poderem ser consideradas renováveis, pois existe uma reposição natural destes compostos a uma taxa muito reduzida, a sua exploração exaustiva não dá margem ao restabelecimento de equilíbrio entre estes dois factos.

Desta forma começa-se a olhar para as energias renováveis como sendo a energia do futuro, sendo que estas têm uma pegada carbónica praticamente nula (só não o é pois ainda requer combustíveis fósseis para o transporte dos seus materiais e preparação do terreno de construção), tendo efeitos negativos mínimos para o ambiente.

Com as preocupações relacionadas com o aumento dos preços dos combustíveis fósseis, o aquecimento global e as consequências ambientais dos gases de estufa, deu-se o impulso necessário ao estabelecimento das energias renováveis como uma importante componente do consumo energético mundial.

A relação entre o consumo de energias renováveis e o crescimento económico foi alvo de muitos estudos sendo já considerada como um pilar de sustentabilidade energética [2].

De acordo com [3, 4], “renováveis são as fontes de energia consumida com maior crescimento, atingindo valores de 3% por ano” e “a parcela total de energia renovável, no mundo, aumenta de 10% em 2008 para 14% em 2035”.

Este tipo de implementação permite dar aos países da comissão europeia maior independência energética, ficando mais resguardados de qualquer eventualidade que possa acontecer relacionada com os combustíveis fósseis.

2.1.1 Produção Primária e consumo final de energia

A produção de energia primária de origem renovável dos países da união europeia em 2013 foi de 192 milhões de tep – 24,3% do total de energia primária produzida por todas as fontes. O investimento neste tipo de recurso já levou a um aumento de produção de 84,4% entre 2003 e 2013, crescendo uma média de 6,3% por ano. Na figura 1 encontra-se a evolução das energias renováveis do contingente europeu entre os anos 2000 e 2012.

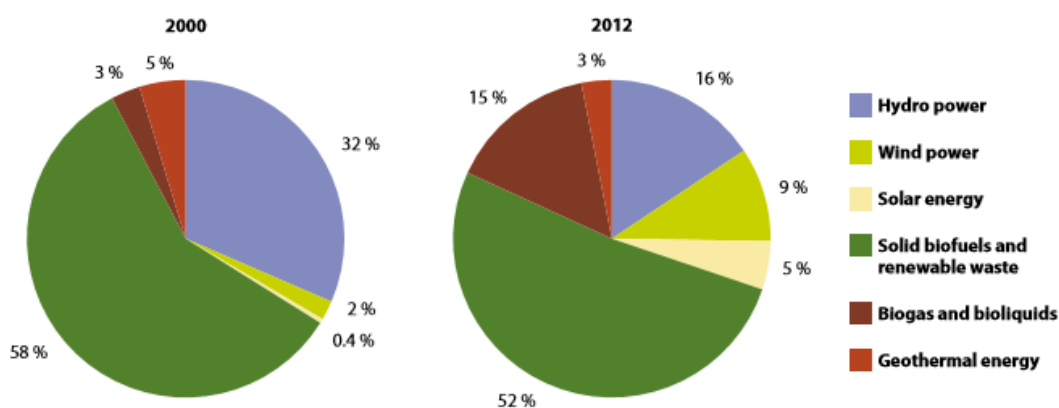


Figura 1 – Evolução de utilização das energias renováveis 2000-2012 [5].

A Espanha foi dos países com maior evolução na produção de energia primária denotando-se um forte investimento do país nesta área e uma grande preocupação em reduzir a dependência energética externa e a emissão de CO₂ para o ambiente (Ver tabela A1).

A evolução energética dos países europeus tem de seguir a diretiva (2012/27/EU) [6] referente á sua eficiência, que estabelece metas para a produção energética proveniente de fontes renováveis, bem como objetivos para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera. Esta diretiva pretende também que até ao ano de 2020 cerca de 20% do consumo total de energia seja proveniente de fontes renováveis (ver figura 2) e que haja um aumento de 20% na eficiência energética [5].

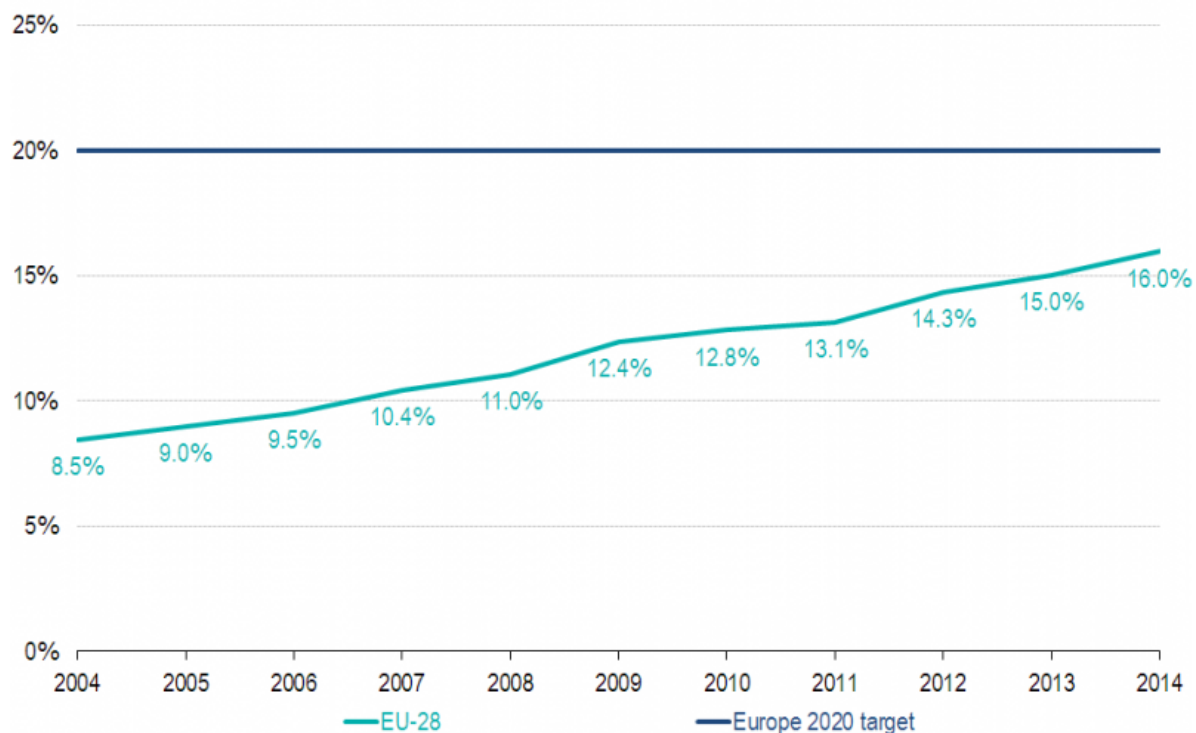


Figura 2 - Objetivo energético europeu [5].

2.1.2 Energia para aquecimento e arrefecimento

O energia gasta em aquecimento e arrefecimento representa quase 50% do total da energia final consumida na Europa. Apesar de ser expectável que as necessidades de aquecimento venham a diminuir, a necessidade energética de arrefecimento continua a aumentar a um ritmo uniforme, tanto em uso residencial como industrial na ultima década (ver tabela 1). Atualmente as necessidades de aquecimento são normalmente suprimidas através de sistemas de combustíveis fósseis (caldeira a gás/óleo), enquanto que no arrefecimento se usa prioritariamente sistemas de ar condicionado.

Consequentemente, há um grande potencial em aumentar a percentagem de energia proveniente de fontes renováveis para este tipo de caso, particularmente biomassa, solar, geotérmica, podendo estas ser usadas como fontes diretas de aquecimento. O conselho europeu de energias renováveis (EREC) estima que as fontes renováveis representem cerca de 30% de todo o consumo de energia para aquecimento até 2020 e mais de 50% até 2050, comparando com 2010, onde os sistemas de aquecimento a trabalhar com combustíveis fósseis representava cerca de 72% de toda a energia consumida para aquecimento [7].

Tabela 1 - Percentagem de energias renováveis usadas para aquecimento e arrefecimento [8].

Share of energy from renewable sources for heating and cooling (RES-H&C)												
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
EU-28	EU-28	10.2	10.8	11.4	12.8	13.1	14.7	14.8	15.4	16.2	16.6	17.7
BE	Belgium	2.9	3.4	3.7	4.5	5.0	5.9	5.8	6.7	7.3	7.5	7.8
BG	Bulgaria	14.1	14.3	14.8	13.9	17.3	21.7	24.4	24.9	27.5	29.2	28.3
CZ	Czech Rep.	8.4	9.1	9.7	11.4	11.2	11.8	12.6	13.2	14.1	15.4	16.7
DK	Denmark	20.7	22.8	23.8	26.9	28.1	29.5	30.9	32.3	33.6	34.9	37.8
DE	Germany	6.3	6.8	7.0	8.4	7.4	9.2	9.8	10.5	10.4	10.6	12.2
EE	Estonia	33.2	32.2	30.7	32.7	35.5	41.8	43.3	44.1	43.1	43.2	45.2
IE	Ireland	2.9	3.5	3.6	3.9	3.6	4.3	4.5	4.9	5.1	5.4	6.6
EL	Greece	12.8	12.8	12.5	14.4	14.3	16.4	17.8	19.4	23.3	26.5	26.9
ES	Spain	9.5	9.4	11.4	11.3	11.7	13.3	12.6	13.6	14.1	14.1	15.8
FR	France	12.3	12.3	11.6	12.6	13.1	14.9	15.9	15.9	16.9	17.8	17.8
HR	Croatia	29.4	30.0	29.1	29.2	28.7	31.2	32.8	33.7	36.5	37.2	36.2
IT	Italy	5.7	8.2	10.1	13.3	15.3	16.4	15.6	13.8	17.0	18.1	18.9
CY	Cyprus	9.3	10.0	10.4	13.1	14.5	16.3	18.2	19.2	20.8	21.7	21.8
LV	Latvia	42.5	42.7	42.6	42.4	42.9	47.9	40.7	44.7	47.3	49.7	52.2
LT	Lithuania	30.4	30.1	29.7	29.8	32.8	34.4	33.2	33.7	35.5	37.7	41.6
LU	Luxembourg	1.8	3.6	3.6	4.4	4.6	4.7	4.8	4.8	5.0	5.8	7.4
HU	Hungary	6.5	6.0	7.5	8.9	8.3	10.5	11.0	12.3	13.5	12.6	12.4
MT	Malta	1.1	2.2	2.6	3.2	3.6	1.8	7.4	10.7	13.1	14.6	14.6
NL	Netherlands	2.2	2.4	2.8	3.0	3.1	3.4	3.1	3.7	3.9	4.1	5.2
AT	Austria	21.4	22.1	22.9	25.7	26.1	28.1	29.8	30.2	31.2	32.7	32.6
PL	Poland	10.3	10.2	10.2	10.4	10.9	11.6	11.7	13.1	13.4	14.1	13.9
PT	Portugal	32.5	32.1	34.2	35.0	37.5	38.0	33.9	35.2	34.0	34.5	34.0
RO	Romania	17.6	18.0	17.6	19.4	23.2	26.4	27.2	24.3	25.8	26.2	26.8
SI	Slovenia	18.4	18.9	18.6	20.4	19.2	27.3	28.3	30.2	31.7	33.7	33.3
SK	Slovak Rep.	5.1	5.0	4.5	6.2	6.1	8.2	7.9	9.3	8.8	7.9	8.7
FI	Finland	39.5	39.1	41.4	41.5	43.4	43.4	44.3	46.0	48.5	50.8	51.9
SE	Sweden	46.7	51.9	56.4	58.7	61.1	63.6	60.9	62.5	65.8	67.1	68.1
UK	United Kingdom	0.8	0.8	0.9	1.1	2.0	2.5	2.8	3.1	3.3	3.8	4.5
IS	Iceland	52.3	53.4	56.9	58.6	62.0	62.1	63.9	65.2	67.2	62.1	76.7
NO	Norway	25.6	28.9	28.6	29.6	31.2	32.3	32.9	34.6	34.2	33.4	32.5

2.1.3 Eficiência energética dos edifícios

“Um NZEB é um edifício com uma performance de energia muito elevada. A pequena quantidade de energia necessária para o edifício deverá ser suprida por meios renováveis, preferencialmente produzidos no local ou na sua proximidade [9]”.

Para a realização deste projeto é necessário ter em conta a diretiva europeia 2010/31/UE para o desempenho energético dos edifícios. Estas diretrizes têm como objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios através da implementação dos sistemas descritos no mesmo.

Para além dos objetivos a curto prazo, é também necessário considerar o futuro sendo que para 2020 se pretende que todos os edifícios novos e as grandes reestruturações energéticas dos mais antigos, os tornem praticamente autossustentáveis, com as emissões praticamente nulas.

Os artigos mais relevantes a este projeto são:

“As medidas destinadas a melhorar o desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica. Essas medidas não deverão afectar outros requisitos relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício”[1].

“A metodologia para o cálculo do desempenho energético deverá abranger o desempenho energético do edifício ao longo de todo o ano, e não apenas durante a estação do ano em que o aquecimento é necessário. Essa metodologia deverá ter em conta as normas europeias em vigor”[1].

“Deverá ser dada prioridade a estratégias que contribuam para melhorar o desempenho térmico dos edifícios durante o Verão. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a proteção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhoram a qualidade do clima interior e o microclima em torno dos edifícios”[1].

“Os requisitos mínimos de desempenho energético devem ser revistos periodicamente, no mínimo de cinco em cinco anos, e, se necessário, atualizados a fim de refletir o progresso técnico no sector dos edifícios”[1].

“O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia [1]”.

2.1.4 Condições climatológicas na envolvente do hotel

A ilha de Tenerife é de origem vulcânica encontrando-se nela o ponto mais elevado de Espanha a cerca de 3718 metros (o vulcão Teide). A existência de uma montanha desta envergadura provoca muitas variações no clima da ilha, sendo que se pode afirmar que esta tem dois micro climas. Na zona Norte o ambiente mais húmido ajuda a reduzir as temperatura, principalmente no verão. Estes fatores levaram á criação de uma grande biodiversidade nesta zona. A zona Sul é mais seca e árida sendo que as temperaturas são significativamente mais elevadas.

O efeito “Sombra de chuva”, ver figura 3, provoca uma desertificação da face da montanha oposta á incidência do vento visto que a montanha bloqueia a passagem de um ambiente capaz de produzir chuva, deixando passar apenas uma “sombra” ar seco para a face oposta [10].

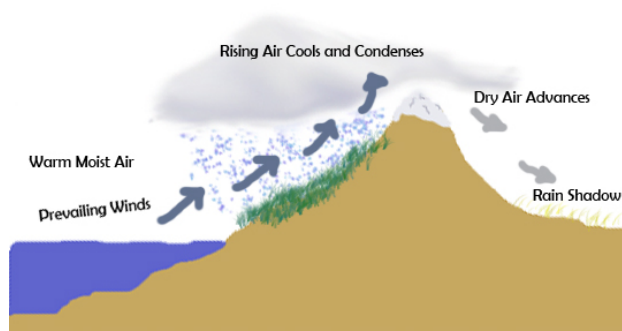


Figura 3 - Efeito "sombra chuva"[11].

Os ventos anabáticos provenientes da face norte da montanha provocam uma subida da massa de ar quente que condensa antes desta passar o seu cume, desta forma as nuvens húmidas criadas por este fator muito dificilmente alcançam a face oposta criando estas disparidade de climas [10].

É conhecida como a ilha da “Primavera eterna” devido á sua posição geográfica, tem a mesma latitude do deserto do Sahara, a sua temperatura média anual que ronda os 21,5 °C. A título de curiosidade, o mês mais frio alguma vez observado foi de 15,8°C de temperatura média [12]. Na figura A1 (anexo A) encontra-se a carta solar da ilha de Tenerife.

2.2 Coletores solares

Relativamente à energia solar, os principais equipamentos utilizados são os colectores solares e os painéis fotovoltaicos. Os primeiros permitem o aquecimento de água para uso doméstico, para o aquecimento de piscinas e permitem também climatizar o espaço interior, enquanto que os seguintes permitem a produção de energia elétrica.

2.2.1 Coletores solares térmicos

Os coletores solares são equipamentos que armazenam a radiação solar incidente, baseando-se no princípio do efeito de estufa. Os raios solares incidentes são refletidos no seu interior permitindo o armazenamento de calor por eles transportado, calor esse que irá aquecer o fluido que passa no interior dos tubos.

Existem vários tipos de colectores e a sua escolha deverá ser feita considerando as temperaturas necessárias, os caudais de utilização, a capacidade de aquecimento e o investimento que se pretende efetuar [13].

2.2.1.1 Coletores planos sem cobertura

Este tipo de coletor é usado, principalmente, para o aquecimento de piscinas devido as suas baixas temperaturas de trabalho (entre 25 e 35°C). É constituído apenas por uma placa absorvedora, podendo esta ser de plástico ou de aço inox, devido ao facto de não ter qualquer tipo de isolamento as perdas térmicas são muito significativas, baixando consequentemente a eficiência do coletor, ver figura 4. Neste sistema a piscina funciona como depósito de acumulação de energia sendo que é a água da mesma que circula dentro do coletor [13].



Figura 4 - Colector plano sem cobertura [14].

Vantagens:

- Baixo custo do equipamento
- Fácil instalação

Desvantagens:

- Baixa eficiência energética, sendo necessário instalar uma maior área de coletores.
- Menores temperaturas de trabalho [13].

2.2.1.2 Coletores planos com cobertura

Utilizados para o aquecimento de águas domésticas, permitindo a obtenção de temperaturas que rondam os 70°C, esta pode variar dependendo da qualidade do isolamento do coletor.

Tal como se pode ver na figura 5, é constituído por:

- Uma cobertura transparente que provocará o efeito de estufa e simultaneamente reduzirá as perdas de calor.

Esta cobertura deverá possuir características para uma elevada transmissão de radiação solar e assim uma baixa reflexão.

- Uma placa absorvedora, responsável pela recepção da energia solar e posterior transmissão da mesma sob a forma de calor para o fluido de trabalho.
- Uma caixa de isolamento que é responsável pela redução das perdas de calor para o exterior e como forma de proteção do coletor [15].

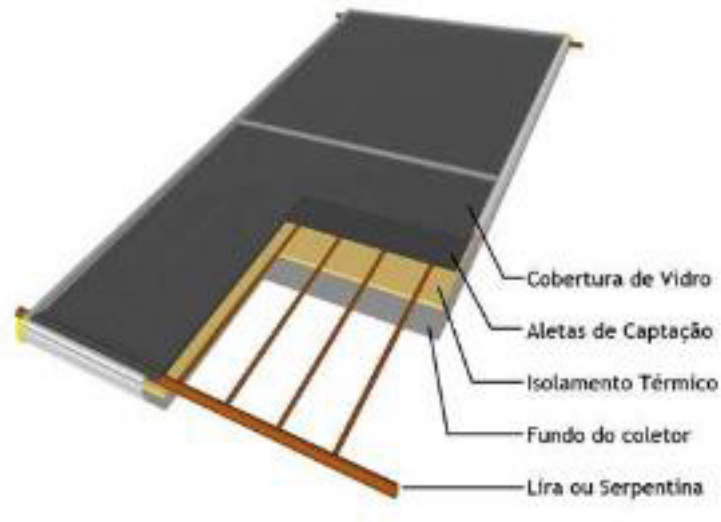


Figura 5 - Esquema de coletor plano com cobertura [16].

Vantagens:

- Boa relação custo/eficiência.
- Elevada versatilidade de montagem

Desvantagens:

- Não permite a obtenção de temperaturas muito elevadas.
- Baixa eficiência relativamente a outros coletores [13].

2.2.1.3 Coletores concentradores parabólicos

A diferença entre este tipo de coletor e os coletores de placa plana encontra-se na geometria da superfície de absorção. Nos CPC's a superfície absorvedora é constituída por uma grelha de aletas com o formato de uma acento circunflexo, colocados sobre os tubos onde passa o fluido de circulação.

Graças a esta adição, existe uma dupla absorção da radiação visto que para além da radiação incidente na superfície superior dos tubos, haverá também uma reflexão da radiação que incidirá na superfície inferior [13], tal como mostra a figura 6.



Figura 6 - Formas de captação solar de um coletor concentrador parabólico.[17]

Vantagens:

- Obtenção de temperaturas elevadas
- Elevada eficiência mesmo com baixa radiação

Desvantagens:

- Custo elevado
- Necessita de sistema de *solar tracking* para manter o coletor na posição ideal para a captação de radiação direta [13].

2.2.1.4 Coletores de tubo de vácuo

Este tipo de coletores permitem a obtenção de temperatura na gama dos 100°C. São constituídos normalmente por tubos de vidro transparentes que contêm no seu interior tubos metálicos que estão revestidos pelo absorvedor (ver figura 7). A atmosfera no interior dos tubos de vidro é nula eliminando desta forma as perdas de calor por convecção, aumentando consequentemente a temperatura máxima que se pode atingir bem como a eficiência do equipamento. Estes coletores para além de captarem a radiação direta permitem também a captação da radiação difusa, factor muito importante para zonas de grande nebulosidade [14].

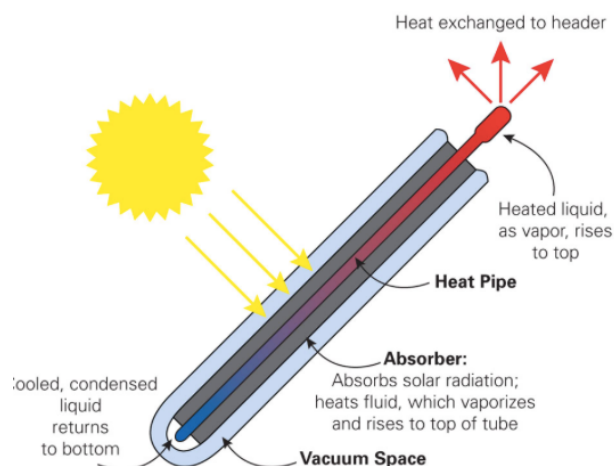


Figura 7 - Esquema de funcionamento de um coletor de tubos de vácuo [18].

Vantagens:

- Elevada eficiência mesmo em locais de baixa radiação e temperaturas negativas.
- Eliminação das perdas por convecção e redução significativa das perdas por condução.

Desvantagens:

- Elevados custo dos equipamentos.
- Elevada manutenção, de forma a verificar se o equipamento está sem fugas [13].

2.2.2 Painéis fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo com a finalidade do seu uso, sendo que estes podem estar ligados à rede elétrica ou *off-grid* (desconectados da rede).

O primeiro tipo é o mais comum porque permite uma maior independência energética e aumenta a quantidade de energia proveniente de fontes renováveis, mas em caso de emergência, falta de radiação solar ou deficiência no sistema de armazenamento da energia convertida, há sempre um *back-up* da rede elétrica de forma a satisfazer as necessidades do edifício.

O segundo tipo é mais utilizado em locais remotos, muitos ainda sem rede elétrica ou em edifícios que pretendam estar completamente independentes da mesma. Nestes casos é necessário efetuar-se um estudo mais detalhado das necessidades do edifício em simultâneo com a escolha de um sistema de armazenamento adequado capaz de sustentar energia suficiente em situações de escassa luz solar [19].

A figura 8 mostra uma instalação de painéis fotovoltaico e de todos os equipamento que permitem um funcionamento pleno deste sistema.

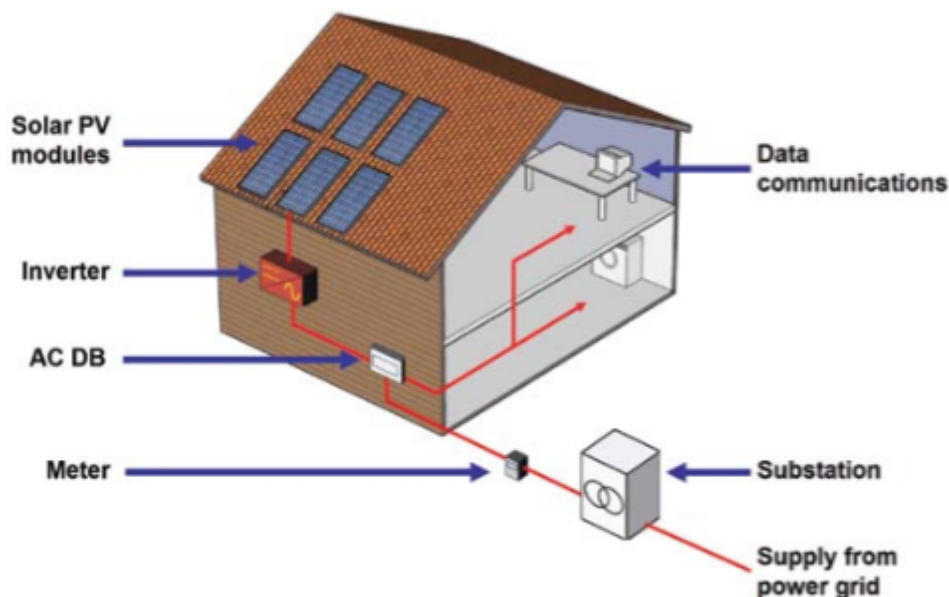


Figura 8 - Componentes da instalação de um sistema painel fotovoltaico [19].

Um painel fotovoltaico é alimentado por um conjunto de módulos cristalinos ou *thin film* (ver figura 9). Estas células são feitas através de materiais semicondutores sensíveis á luz solar que usam fotões para mover eletrões de forma a criar uma corrente elétrica.

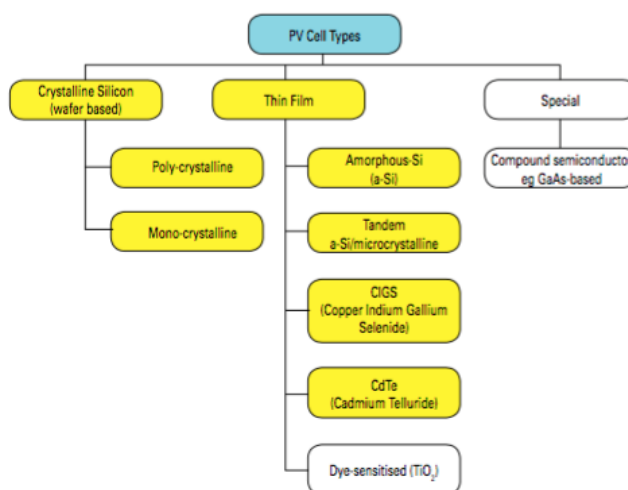


Figura 9 - Tipos de células fotovoltaicas [19].

Apesar da eficiência deste tipo de sistema ser bastante baixa, já se começam a verificar algumas melhorias á medida que são descobertos novos tipos de materiais, como se pode verificar na figura 10.

Technology	Module Efficiency
Mono-crystalline Silicon	12.5-15%
Poly-crystalline Silicon	11-14%
Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)	10-13%
Cadmium Telluride (CdTe)	9-12%
Amorphous Silicon (a-Si)	5-7%

Figura 10 - Eficiência das diferentes células fotovoltaicas [19].

2.2.3 Coletor solar híbrido

Os painéis fotovoltaicos apresentam um aumento da sua temperatura de funcionamento devido à absorção da radiação solar, sendo a maior parte convertida em calor em vez de eletricidade.

Os sistemas híbridos fotovoltaico/térmico (PV/T) combinam simultaneamente a conversão da radiação solar sobre a forma de calor e de eletricidade. Estes são constituídos por módulos fotovoltaicos montados juntamente com unidades de extração de calor, pelas quais o fluido circula (normalmente a uma temperatura inferior à da célula) arrefecendo os módulos fotovoltaicos e aquecendo o fluido no mesmo processo [20] (ver figura 11).

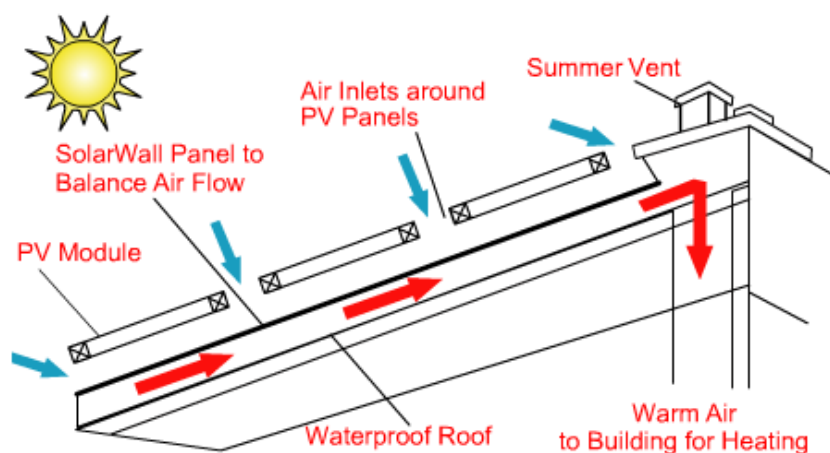


Figura 11 - Esquema de coletor solar híbrido [21].

O sistema solar híbrido é constituído por módulos fotovoltaicos sem proteção térmica da sua superfície exterior, desta forma há um grande aumento das perdas de calor pelos topos reduzindo a sua temperatura operacional. Para que haja um aumento desta temperatura, é

imperativo a colocação de uma cobertura (semelhante a qualquer tipo de coletor solar térmico, ver figura 13, pelo que provocará uma aumento da temperatura das células e consequentemente uma diminuição da sua eficiência (ver figura 12). Este fator será diminuído pelas trocas de calor que também se darão entre o fluido de circulação e os módulos [20].

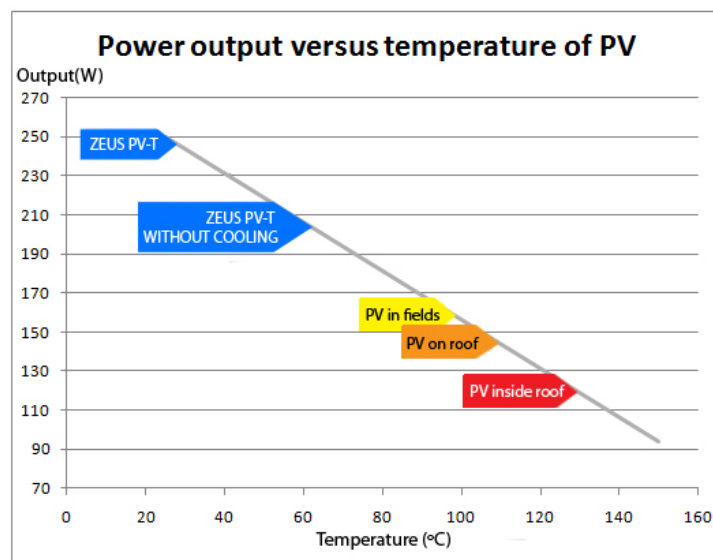


Figura 12 - Variação da potência com a temperatura do painel fotovoltaico [22].

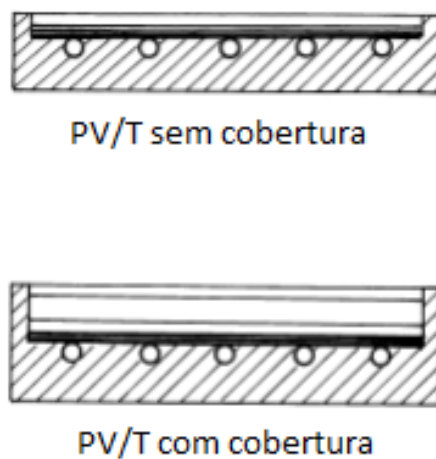


Figura 13 - Estrutura de painel fotovoltaico com e sem cobertura [22].

Este tipo de sistema é relativamente recente sendo que ainda estão a ser feitos estudos relativos á sua eficiência e viabilidade, pelo que a sua instalação neste tipo de projeto não é adequada.

2.3 Bombas de calor

As bombas de calor são dispositivos que transferem calor de um ambiente para outro através das mudanças de fase atribuídas a um fluido frigorigéneo. Estas operam segundo um ciclo de compressão/expansão que, dependendo das temperaturas que se pretendam atingir, podem ter um ou mais andares de compressão.

Para o uso doméstico, usa-se um ciclo de compressão/expansão simples (de um andar) por não ser necessário obter temperaturas muito baixas nem muito altas. Este é constituído por um compressor, expansor, condensador e evaporador [23][24].

2.3.1 Ciclo de refrigeração/aquecimento

O refrigerante, em fase de líquido comprimido, entra na válvula de expansão (expansão isentrópica) reduzindo pressão e consequentemente baixando a sua temperatura passando a um estado de vapor húmido (ver figura 14).

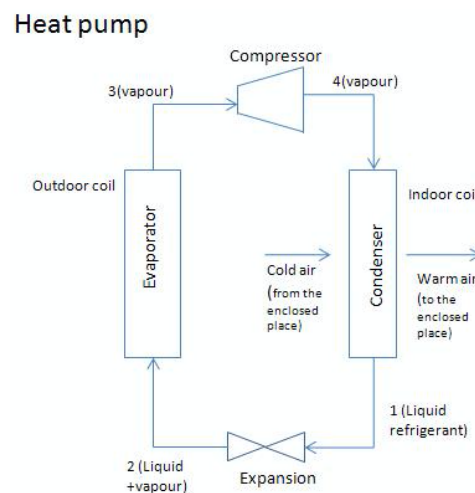


Figura 14 - Ciclo de refrigeração/aquecimento [25].

Posteriormente o refrigerante entra no evaporador onde retirar calor do espaço a refrigerar, passando a um estado de vapor saturado. Este vapor será comprimido (compressão isentrópica) saindo sob a forma de vapor sobreaquecido. Após a sua entrada no condensador

irá libertar o seu calor para o ambiente regressando ao seu estado inicial de líquido comprimido.

Caso se pretenda é possível inverter o ciclo de forma a aquecer o espaço [23][24].

2.3.2 Bomba de calor a ar

As bombas de calor a ar (ver figura 15) podem retirar calor do exterior durante a época de aquecimento e libertar calor para o exterior durante a época de arrefecimento.

As bombas de calor ar-ar são as mais comuns, extraem calor do ar e transferen-no para o interior ou exterior da habitação dependendo da estação de climatização em que se encontre. Este tipo de sistema é adequado para climas amenos.

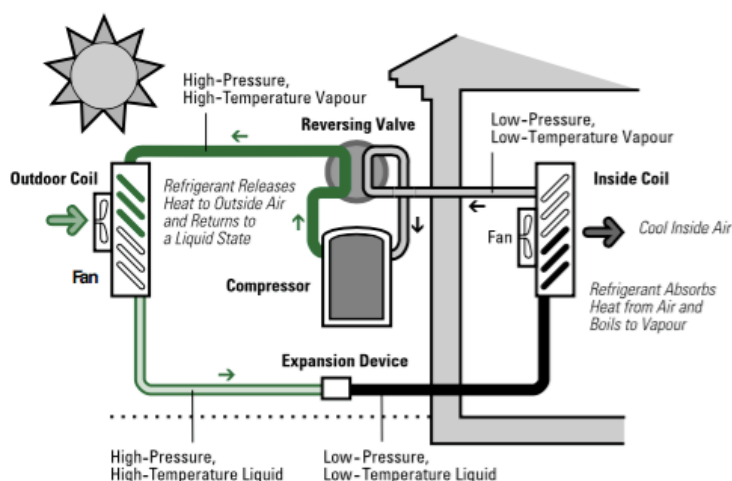


Figura 15 - Esquema de um sistema com bomba de calor ar-ar [26].

Existem também as bombas de calor ar-água, normalmente é utilizadas em edifícios que tenham aquecimento central e chão aquecido. Este tipo de instalação é rara muito pelo facto de a maioria dos sistemas não efetuar arrefecimento. Este tipo de sistemas é adequado para climas frios onde quase não é necessário haver arrefecimento do espaço interior [26][27].

2.3.3 Bombas de calor geotérmicas

Este tipo de bomba de calor usa a solo/poços de água ou ambos, como fonte de aquecimento no Inverno ou como depósito do calor removido do edifício no Verão, como se pode ver na figura 16. O calor é retirado da terra através de um líquido, seja ele a água do poço ou um fluido anticongelante. A temperatura do líquido é posteriormente aumentada pela bomba de calor que a transferirá, sob a forma de calor, para o interior do edifício. Este processo pode ser revertido no Verão para permitir o arrefecimento do edifício.

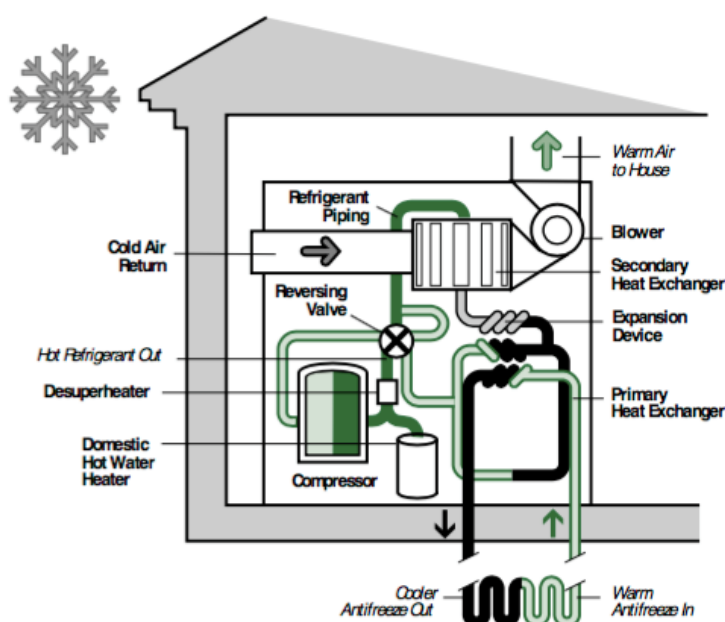


Figura 16 - Esquema de sistema de bomba de calor geotermal [26].

Este tipo de sistema de tubagens exterior pode ser de circuito aberto ou fechado. Os circuitos abertos têm a vantagem de aproveitar a energia armazenada na água de um poço, água esta que é retirada diretamente para o permutador de calor onde se dão as trocas de energia. Os circuitos fechados utilizam a própria energia armazenada no solo através de tubagens enterradas, dando-se aí as trocas de calor para o refrigerante [26][27].

2.3.4 Bomba de calor água-água

Este tipo de sistema utiliza um ciclo de compressão de vapor com a particularidade das trocas de calor no evaporador e condensador se darem para a água (ver figura 17). Por um lado o refrigerante liberta/absorve (dependendo da estação meteorológica em que se encontrar) calor para a água que circula no edifício, que poderá servir para aquecimento ou água quente doméstica, e por outro liberta/absorve calor de um ciclo de água que circula em tubagens enterradas.

Este tipo de sistema é muito usado em climas frios que tenham elevadas necessidades de aquecimento [26][28].

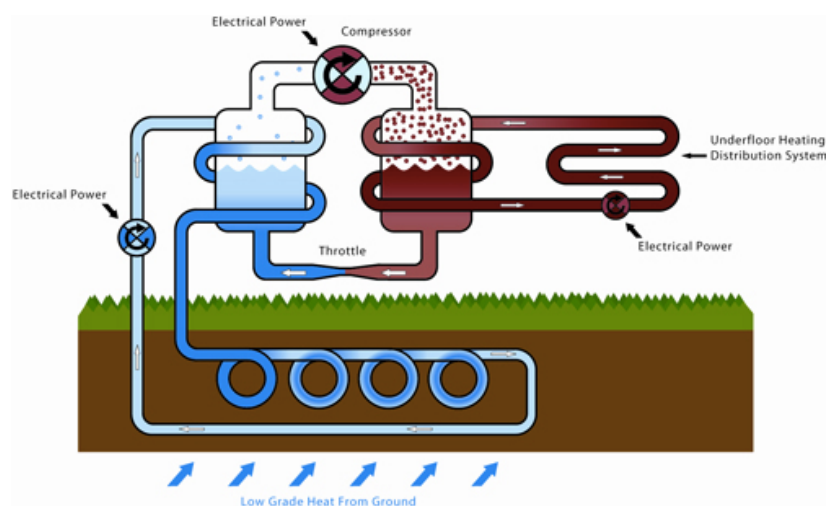


Figura 17 - Esquema de bomba de calor água-água [28].

3 Caso de estudo: Hotel Tigaiga

3.1 Descrição do Hotel

O hotel Tigaiga está situado na zona norte da ilha de Tenerife, pertencente ao arquipélago das Canárias ao largo do norte de África, numa latitude de 28,4ºN e longitude de 16,2º O. Com uma elevação de 99 metros sobre o nível do mar, o hotel localiza-se a uma distância de 1,4 km da costa e 900 m do centro da cidade e a sua fachada principal tem uma orientação de 29º Noroeste (figura 18).

Sendo este um hotel de 4 estrelas, contém um total de 84 quartos divididos ao longo de 4 pisos, uma piscina exterior aquecida, um campo de ténis, restaurante, para além dos serviços de limpeza [29]. Tem uma área total de pavimento de 5940 m² divididos por 5 pisos, com um é direito de 3,67 m.



Figura 18 - Mapa da ilha de Tenerife com recorte da zona onde o hotel está situado.[30]

A direção do hotel Tigaiga esta determinada em melhorar significativamente a performance energética do edifício e ir de encontro aos parâmetros necessários para o tornar num edifício de emissões quase nulas.

O hotel foi construído em 1959, e foi o primeiro de Tenerife a instalar coletores solares térmicos para aquecimento. Apesar deste investimento, torna-se necessário trocar estes coletores por modelos mais recentes capazes de ter uma melhor eficiência energética.

Para além da instalação deste tipo de sistemas é sempre necessário ter em conta os sistemas passivos. Estes não requerem qualquer tipo de energia para o seu funcionamento e são, normalmente, de pequeno investimento e permitem uma redução significativa das necessidades térmicas do edifício. Na figura 19 encontra-se a vista aérea do hotel.



Figura 19 - Vista aérea do hotel Tigaiga.[31]

A orientação, a inércia e a posição dos envidraçados do edifício são fulcrais para esta redução, sendo preferível uma orientação sul e uma inércia forte de forma a manter as temperaturas no seu interior o mais constante possível tornando-o mais resistente a quaisquer variações de temperaturas do seu interior.

É imperativo aumentar também a exposição solar durante o inverno de forma a maximizar os ganhos e reduzi-la durante o verão, algo que se pode tornar problemático quando se efetua uma renovação energética [32].

Durante a construção do hotel Tigaiga (há cerca de 50 anos) ainda não havia a preocupação deste ter um baixo consumo energético. Apesar de atualmente se terem efetuado muitas alterações de forma a melhorar este parâmetro, a eficiência energética ainda pode ser melhorada. Para o fazer, terá de se recorrer a sistemas de energia renovável com um ênfase para a energia solar e à aplicação de sistemas que utilizem solar passiva para reduzir os consumos energéticos e aumentando o conforto térmico, por ex. sombreadores exteriores ou cortinas obscuras.

3.2 Equipamentos existentes

Apesar de, como foi mencionado anteriormente, o hotel ser bastante antigo, a última renovação (em 2015) melhorou muitos aspetos energéticos até ali inexistentes.

Em todas as habitações do 4º piso foi substituída a iluminação existente por lâmpadas LED enquanto que nos restantes pisos ainda se utilizam lâmpadas incandescentes. Foi instalado, em todos os pisos, um sistema de controlo do ar condicionado de forma a que este se desligue quando são abertas as varandas das habitações, minimizando o desperdício de energia. As televisões das habitações e os equipamentos de cozinha e lavandaria são de categoria A+.

As maquinarias existentes (Carrier 30PM e Trane CXAH 270) foram substituídas por uma nova geração de bombas de calor (Carrier 61WG (Figura C1 do anexo C) e Alfa Laval DG633). A substituição dos equipamentos de ar condicionado por uma bomba de calor com recuperador permite que o calor gerado no condensador seja aproveitado para aquecer as habitações, a piscina e as águas sanitárias em caso de necessidade.

A energia solar instalada no hotel cobre grande parte das necessidades energéticas sem recorrer a recursos não renováveis e consequentemente reduz a contaminação atmosférica. No ano 2010 foi efetuada uma instalação de energia solar térmica constituída por 48 captadores solares (CPP), com uma área de captação de 107 m² e uma potência instalada de 75 kW, capaz de suportar 107 MWh/ano. Estes estão responsáveis pelo aquecimento de

águas domésticas, aquecimento interior e aquecimento da piscina (para este caso usam-se coletores solares térmicos sem cobertura).

O aquecimento do hotel é efetuado numa primeira fase através dos coletores solares térmicos, quando as necessidades de aquecimento não são muito elevadas. Nos dias de maior frio, utiliza-se a bomba de calor e, em caso de necessidade extrema uma caldeira a gásóleo. Desta forma tentam-se manter os gastos energéticos no mínimo possível.

Nas zona comuns praticamente não se utiliza o equipamento de ar condicionado, sendo que o arrefecimento do espaço é feito por ventilação natural cruzada [33].

3.3 Materiais de construção

A definição dos materiais de construção do hotel é de extrema importância para a realização dos cálculos energéticos. Com isto é possível determinar o nível de inércia do edifício, bem como o coeficiente de transferência de calor de cada parede e das janelas nele incluídas. Os coeficientes de transferência de calor de todos estes elementos bem como o coeficiente de ganhos solares das janelas encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 - Características térmicas das paredes e janelas

Paredes	Piso	Espessura [mm]	U[W/m².K]	g-value
Exterior	cave, 2, 3, 4	47	0.698	---
Exterior	0,1	37	0.683	---
Chão e Cobertura	Todos	40	0.673	---
Interior	cave, 0, 1, 2, 3	25	0.727	---
Interior	4	25	0.753	---
Janelas	---	Espessura [mm]	U[W/m².K]	g-value
Duplas	---	20	3.21	0.722
Simples	---	5	5.73	0.482

As paredes exteriores dos pisos 2, 3, 4 e cave são constituídas por duas camadas bloco de cimento de 20 cm que no seu interior contêm 4 cm de um isolante de lã de rocha. Os

aperfeiçoamentos exteriores são feitos com cimento enquanto que os interiores são feitos a partir de gesso. Os restantes pisos, 0 e 1, são constituídos por duas camadas de bloco cerâmico (tijolo) cada um com 15 cm de espessura novamente intercalados com 4 cm de lã de rocha. Os revestimentos exteriores são feitos do mesmo material dos restantes pisos.

As paredes interiores são constituídas por duas camadas de bloco cerâmico (tijolo) de 9 cm, com a exceção do piso 4 cujo material é bloco de cimento também com 9 cm de espessura, ambas intercaladas com 4 cm de isolamento de lã de rocha com revestimento de gesso. Apesar de não ter informação relativa ao chão e teto de cada piso, foi considerada uma constituição semelhante às dos pisos 2, 3, 4 e cave com particularidade dos revestimentos serem chão em cerâmica e teto falso (contraplacado) para os pisos 0, 1 e 4 e gesso para os restantes. As janelas das habitações são duplas de dimensões 6x8x6, mas nas zonas comuns as janelas são simples com cerca de 5 mm de espessura.

4 Modelação do ficheiro TRNSYS

O TRNSYS é um software que permite simular o comportamento de sistemas transientes. Neste caso é usado para determinar a performance térmica de um edifício mas também pode ser usado em sistemas dinâmicos.

A criação deste projeto encontra-se dividida em duas partes distintas, na primeira relacionada com a posição do edifício e os fatores externos como os diferentes tipos de radiação, sombreamentos e posterior a simulação. A segunda parte relacionada com a construção do edifício com todas as suas características internas.

A recolha dos dados das simulações pode ser efetuada através da visualização gráfica ou podem ser obtidos em tabelas horária, diária ou mensal [34].

4.1 Caracterização do hotel

Para a construção do edifício neste software foi necessário, antes de tudo, dividi-lo em diferentes zonas (Airnodes). Estas zonas encontram-se relacionados uns com os outros através da definições que são dadas às paredes.

Uma parede “adjacente” ou adjacente é uma parede que divide duas zonas, tanto podem ser em pisos diferentes como no mesmo piso. Uma parede “external” ou externa significa que essa é uma parede exterior e uma parede “internal” ou interna é uma parede que existe no interior de uma zona. A escolha das paredes e da sua constituição (layers) foram escolhidas de acordo com os dados obtidos pelo arquiteto do hotel.

Após a definição completa das paredes é necessário colocar as janelas, para isso é preciso saber a área de envidraçados nessa parede e o tipo de vidro da instalação (dados obtidos pelo arquiteto do hotel). Na tabela 3 encontram-se discriminadas todas as áreas das fachadas dos diferentes pisos, bem como a percentagem de envidraçados em cada uma delas.

Tabela 3 - Dados das diferentes zonas do hotel, sua orientação e percentagem de envidraçados nas suas fachadas.

Piso	Zona	Fachada N		Fachada S		Fachada E		Fachada O		Fachada H
		Área (m ²)	%Vidro	Área (m ²)	%Vidro	Área (m ²)	%Vidro	Área (m ²)	%Vidro	Área (m ²)
Piso Cave	C.1	---	---	---	---	118,4	0%	118	29,1%	564
	C.2	---	---	27,5	0%	90,3	6,64%	90,3	42,1%	615
	C.3	105,8	85,1%	---	---	38,5	64,9%	38,5	64,9%	303,4
Piso 0	0,1	---	---	52,5	63,8%	21	69,0%	21	69,0%	122,5
	0,2	15	62,7%	---	---	---	---	144	50,0%	420
	0,3	60	63,3%	22,5	37,8%	150	47,7%	---	---	735
Piso 1	1,1	28,5	14,4%	28,5	---	---	---	144	50,0%	456
	1,2	24	17,1%	24	---	144	37,5%	---	---	384
Piso 2	2,1	28,5	14,4%	28,5	---	---	---	144	50,0%	456
	2,2	24	17,1%	24	---	144	37,5%	---	---	384
Piso 3	3,1	28,5	14,4%	28,5	---	---	---	144	50,0%	456
	3,2	24	17,1%	24	---	144	37,5%	---	---	384
Piso 4	4,1	24	36,7%	24	56,3%	---	---	132	71,4%	352
	4,2	21	35,7%	21	39,0%	132	---	---	---	308

Nas figuras 20, 21, 22 e 23 encontram-se explicitadas as divisões efetuadas para cada piso, começando pela cave, subindo até ao 4º piso. A divisão do hotel em diferentes zonas foi efetuada de forma simples, sem nenhum critério específico. Esta apenas foi feita de forma a facilitar a construção do ficheiro e possíveis cálculos que se tenham de efetuar.

Sendo que a sua disposição na planta do hotel é a seguinte:

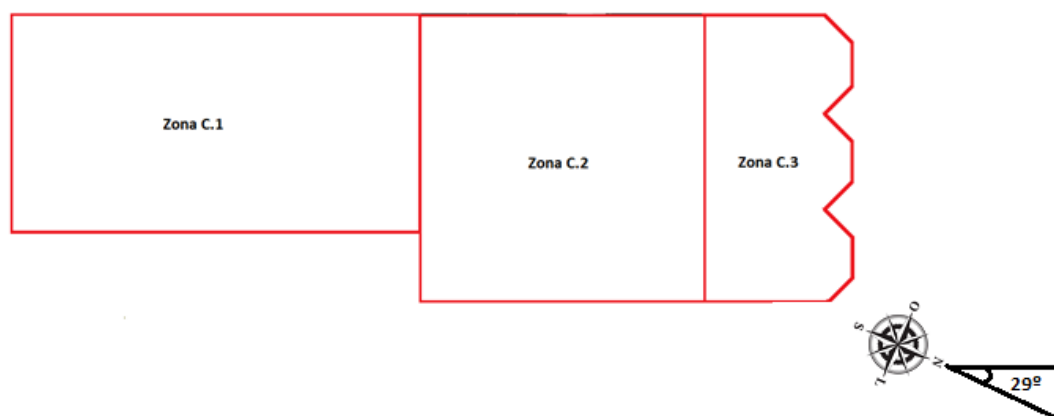


Figura 20 - Divisão das diferentes zonas da Cave (Piso cave).

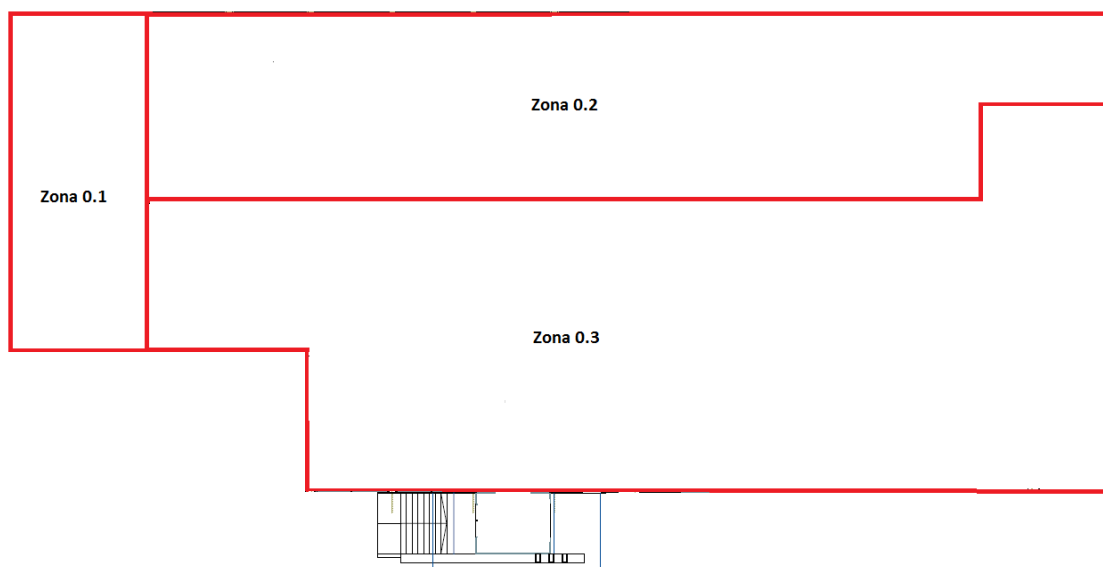


Figura 21 – Divisão do rés-do-chão do edifício (Piso 0).

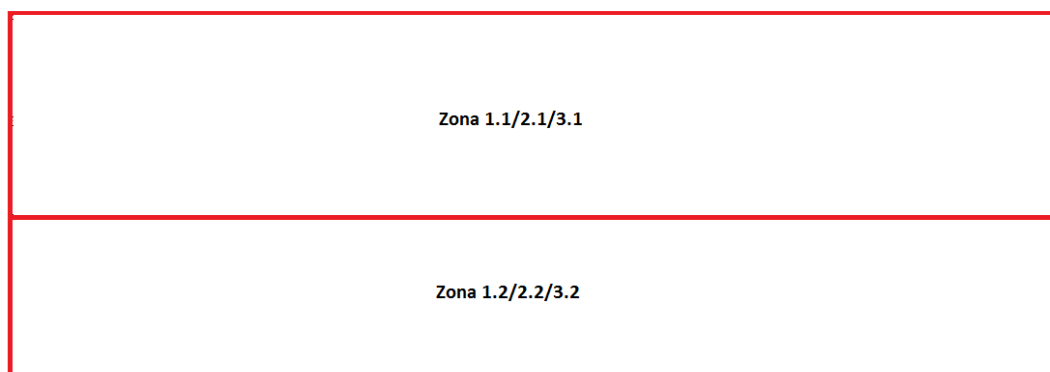


Figura 22 – Divisão dos pisos 1, 2 e 3

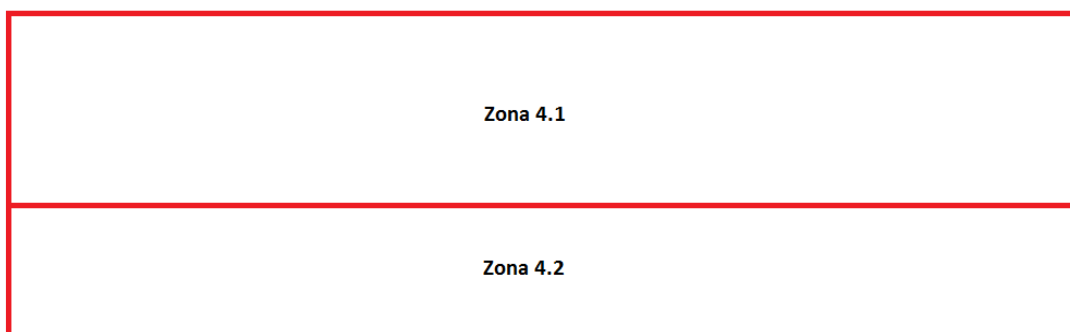


Figura 23 – Divisão do quarto e último piso do hotel.

4.2 Simulation Studio

4.2.1 Modelação do edifício

No início do projeto é necessário definir a posição geográfica do edifício visto que este se encontrava a menos 29º Norte. Desta forma o TRNSYS assume um norte alternativo que parte desse ponto de forma a facilitar a identificação das paredes e sua posição, sendo que os cálculos finais são obtido para o Norte “real”.

Os dados climáticos são obtidos no *Meteonorm*, *software* cuja base de dados compila informações de vários anos de estudo (cerca de 20 anos) para as coordenadas em que se encontra o edifício. Na figura 24 encontra-se a modelação final do edifício no TRNSYS.

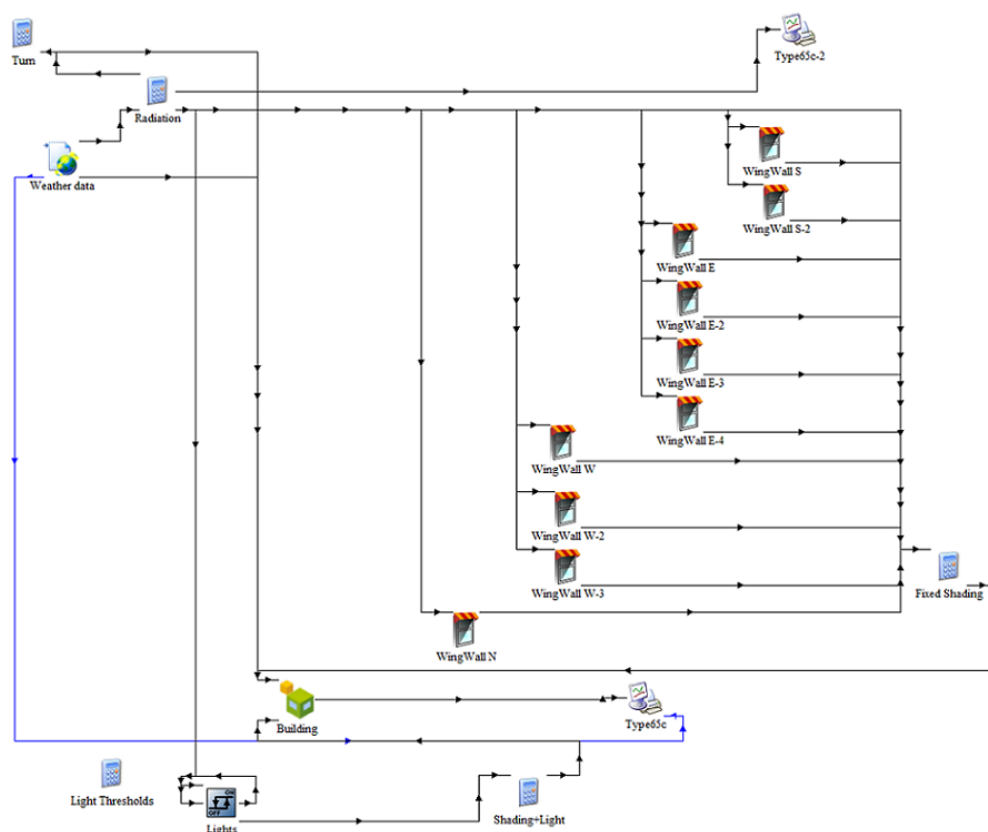


Figura 24 – Modelação do ficheiro TRNSYS do hotel e todos os seus componentes.

Relativamente ao sombreamento é necessário efetuar um estudo relativamente á importância das varandas e das divisórias entre zonas que possam influenciar a radiação incidente na fachada do edifício. Para este projeto foram contabilizadas as divisórias e as varandas, tanto a Este como a Oeste do edifício desde o piso 0 ao piso 4. Sendo que os sombreamentos a Norte e a Sul apenas interferem nos pisos 0 e 4. No piso menos 1 não existe qualquer tipo de sombreamento.

Para que estes sejam aplicados ao edifício em questão é necessário criar uma fachada virtual, na qual a radiação incidente é parcialmente bloqueada, assim a sua posição geográfica será alterada de, por exemplo, Este para SHADE_Este. Isto foi aplicado a todas a fachadas que contivessem sombreamentos.

4.2.2 Modelação do sistema fotovoltaico

Através desta modelação é possível determinar a produção de energia elétrica de uma área definida de painéis solares dependente dos dados climáticos e radiativos da zona em que se encontra inserido, posição geográfica (latitude e longitude) e angularidade do painel.

Na figura 25 encontra-se um esquema desta modelação no TRNSYS.

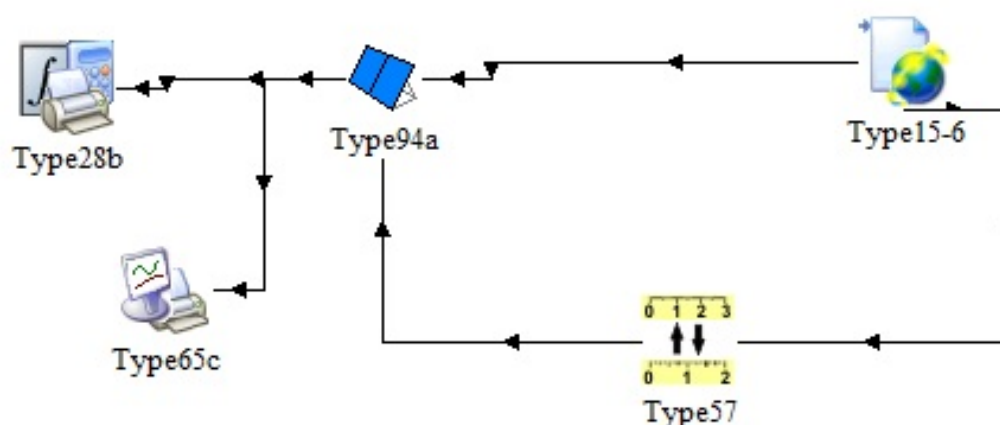


Figura 25 - Modelação do ficheiro TRNSYS dos painéis fotovoltaicos.

Na tabela 4 encontra-se uma breve descrição dos elementos que se encontram nas figuras 24 e 25 das modelações efetuadas.

Tabela 4 – Definição dos componentes do TRNSYS

Ficheiro	Descrição
<i>Turn</i>	Responsável pela rotação do edifício
<i>Weather Data / type15-6</i>	Ficheiro Meteonorm com dados meteorológicos e radiativos do hotel
<i>Radiation</i>	Conjugação dos dados radiativos e divididos por todas as fachadas
<i>Type 52c</i>	Simulador que permite a verificação das quantidades de radiação incidente nas diferentes fachadas
<i>Wing Wall</i>	Sombrador individual de cada zona
<i>Fixed shading</i>	Compila todas as <i>Wing Wall</i> e cria uma fachada virtual semelhante á real com o sombreamento das diferentes zonas.
<i>Buiding</i>	Modelação do hotel com todas as suas características físicas e posição das paredes
<i>Type 52c_2</i>	Simulador que permite a recolha dos dados das necessidades energéticas e temperaturas
<i>Type94a</i>	Painel Fotovoltaico de módulo cristalino
<i>Type57</i>	Conversor de unidades, neste caso kelvin-celsius
<i>Type28b</i>	Simulador que permite obter os outputs do painel em dados mensais
<i>Type65c</i>	Simulador que permite obter os outputs do painel em dados horários para um período anual.
Restantes	De pouca relevância na modelação do projeto

5 Resultados obtidos

Após a construção do ficheiro TRNSYS dá-se início às simulações, estas permitirão verificar o comportamento energético do edifício e desta forma será mais fácil tomar decisões relativamente aos diferentes tipos de equipamentos de energias renováveis que se poderão implementar.

As simulações foram efetuadas para as temperaturas de conforto estabelecidas no capítulo 5.2, para um hotel sem qualquer tipo de sombreamento e para uma baixa taxa de renovação de ar, cerca de 0,6 renovações por hora

5.1 Dados meteorológicos

Foi criado um ficheiro com os dados meteorológicos do local, através do Meteonorm.

Com estes dados é possível caracterizar o tipo de ambiente que envolve o edifício. A figura 26 permite verificar a variação da temperatura e da humidade relativa ao longo de um ano típico para o local onde está o hotel.

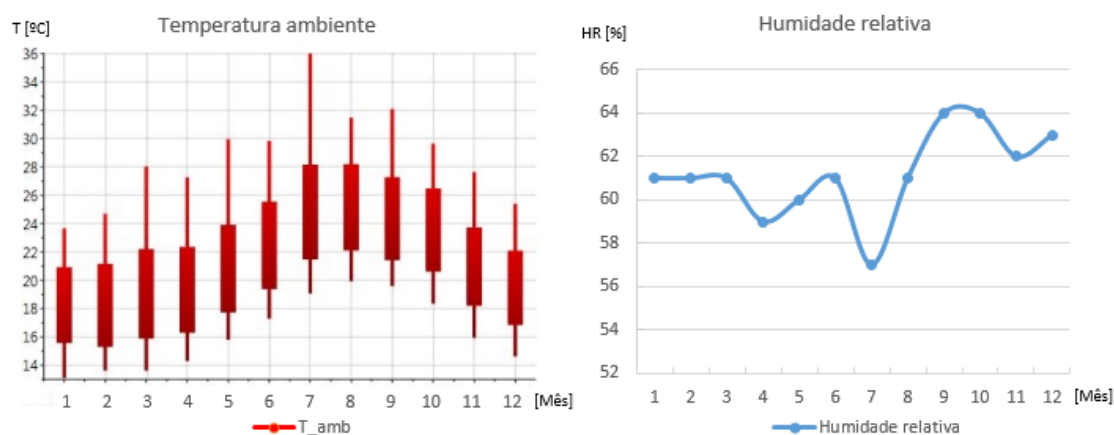


Figura 26 - Variação anual da temperatura ambiente e da humidade relativa.

Devido á sua posição geográfica a temperatura exterior é relativamente constante, sendo a temperatura média anual cerca de 21 °C. A humidade relativa também ronda valores praticamente constantes, 63% quase todo o ano. Como se pode verificar os invernos não são

muito rigorosos pelo que as necessidades de aquecimento deverão ser relativamente baixas, ou até mesmo nulas em alguns casos (dependendo da exposição solar).

A figura 27 apresenta em detalhe a média mensal da radiação total incidente em cada uma das fachadas:

- Sul (IT_S) – Radiação incidente na fachada Sul
- Oeste (IT_O) – Radiação incidente na fachada Oeste
- Norte (IT_N) – Radiação incidente na fachada Norte
- Este (IT_E) – Radiação incidente na fachada Este
- Horizontal (IT_H) – Radiação incidente na fachada horizontal

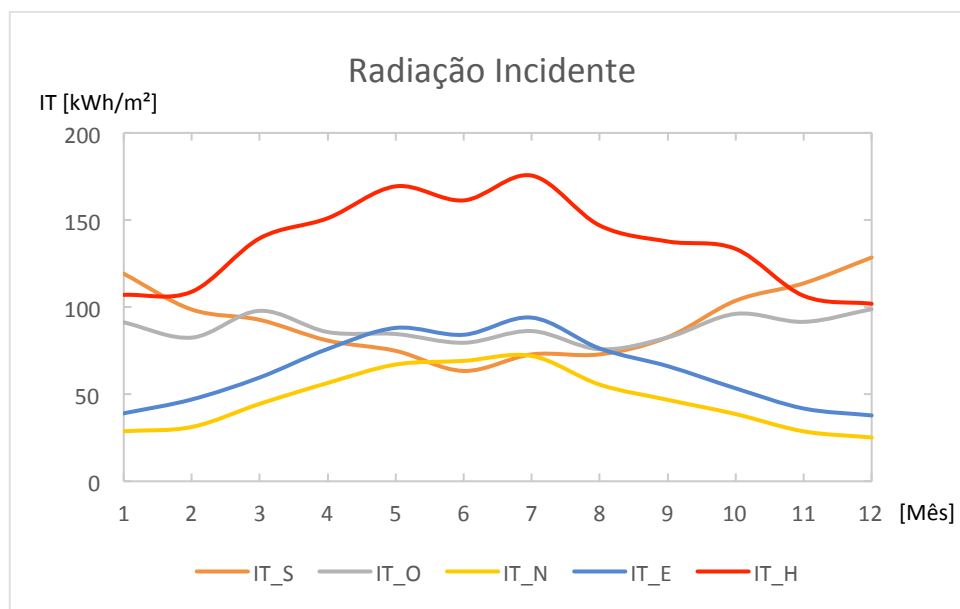


Figura 27 - Variação anual da radiação incidente nas diferentes fachadas.

Através destes dados obtidos é possível fazer uma estimativa das zona que irão requerer mais necessidades de aquecimento e arrefecimento.

A fachada Sul, como seria de esperar, deverá ser a zona que requer menos energia de forma a manter a temperatura em parâmetros aceitáveis. Isto porque maximiza a quantidade de radiação incidente no inverno e a minimiza no verão. Tem o inconveniente de receber radiação durante um maior número de horas e caso não haja sombreamento pode-se tornar problemático. No lado oposto encontra-se a fachada norte e este. Estas deverão ser as mais vulneráveis em termos energéticos pelo que requererão muita energia no verão para manter as temperaturas em valores aceitáveis para o conforto térmico dos clientes do hotel.

5.2 Cálculo das necessidades energéticas

Para se determinar as temperaturas operativas de conforto é necessário analisar as normas existentes referentes a este capítulo. Para isso foi escolhida a norma ISO 7730 [36] de avaliação do conforto térmico.

Para a obtenção das temperaturas de conforto térmico é necessário escolher a atividade metabólica dos indivíduos bem como a resistência térmica do seu vestuário.

Como se pode verificar nas tabela 5, 6 e figura 28, referentes ao estudo do conforto térmico de um individuo, o “vestuário leve de verão” no verão que tem uma resistência térmica de 0,5 clo e “vestuário de inverno para ambiente interior” no inverno que tem 1,0 clo de resistência térmica. Como as pessoas que normalmente utilizam este tipo de hotel estão em férias, recorreu-se a uma atividade metabólica de “atividade sedentária” no valor de 1,2 met.

Tabela 5 – Dados referentes á resistência térmica de diferentes elementos [35].

VESTUÁRIO	Resistência térmica (I_{vest}) (clo)	Resistência térmica (I_{vest}) ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Nu	0	0
Calções	0.1	0.016
Vestuário tropical	0.3	0.047
Vestuário leve de verão	0.5	0.078
Vestuário de trabalho	0.7	0.124
Vestuário de inverno para ambiente interior	1.0	0.155
Fato completo	1.5	0.233

Tabela 6 – Dados referentes á atividade metabólica dos indivíduos [35].

TIPO DE ACTIVIDADE	Metabolismo (W/pessoa)	Metabolismo (met)	Metabolismo (W/m^2)
Deitado	85	0.8	47
Sentado a descansar	104	1.0	58
Actividade sedentária	126	1.2	70
De pé, actividade leve	167	1.6	93
De pé, actividade média	210	2.0	117
Grande actividade	315	3.0	175

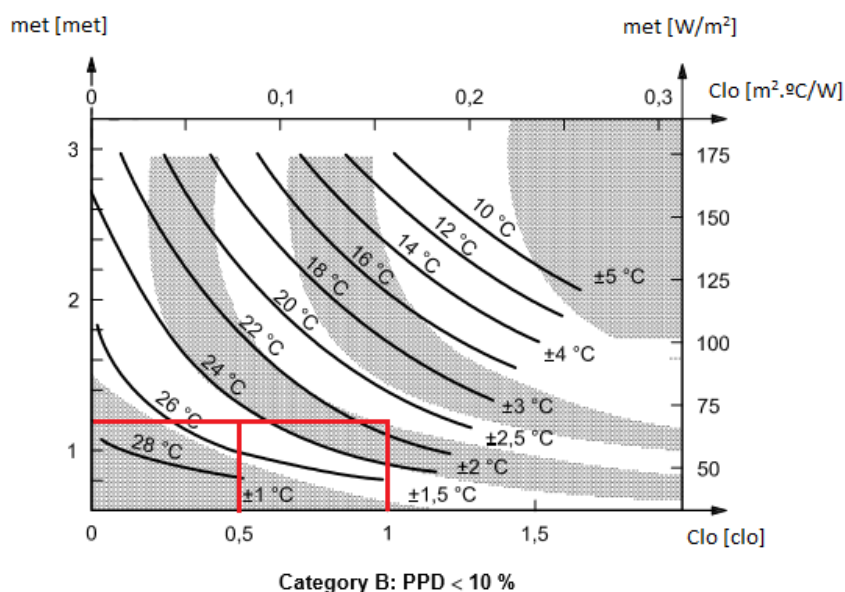


Figura 28 - Gráfico para a obtenção das temperaturas operativas e gama de conforto térmico [36].

Para um PMV/PPD de 10% (uma média de 10% das pessoas está desconfortável ou *Predicted Mean Vote*), as temperaturas operativas para um clo de 0,5 no verão, 1,0 no inverno e uma atividade metabólica de 1,2 met estariam numa gama de $25 \pm 1,5$ °C e $21 \pm 2,5$. Desta forma as temperaturas máximas escolhidas para haver arrefecimento será de 25 °C e a mínima para haver aquecimento será de 20°C [36], pelo que as temperaturas de conforto estão neste intervalo durante todo o ano.

Um fator a ter em conta antes de efetuar as simulações relativas às necessidades energéticas, são os ganhos internos de cada zona (ver Tabela 7). Como a taxa de ocupação difere de zona para zona (foi atribuída uma taxa média de 2 pessoas por quarto e escolhido um valor plausível para as restantes) sendo que cada uma destas contém diferentes tipos de equipamentos, as suas necessidades irão variar significativamente.

Nas zonas habitacionais e recepção há equipamentos electrónicos (televisões e computadores) cujos valores obtidos foram estimados para uma utilização não contínua, até porque maior parte do tempo estes se encontram desligados. Na cozinha já são considerados os frigoríficos, fogões e qualquer outro equipamento associado que possa estar relacionado.

Na iluminação foi considerado o valor atribuído pelo *software* TRNSYS para iluminação interior (lâmpadas incandescentes), com exceção ao piso 4 cuja redução é causada pelo uso de lâmpadas LED.

As simulações foram efetuadas para um período de utilização de 24 horas para todos os equipamentos. Na ocupação das zonas foi considerado um período de 16 horas.

Tabela 7 – Ganhos internos de cada zona do hotel.

Piso	Zona	Ganhos Internos		
		Ocupação (nº Pessoas)	Iluminação (W/m ²)	Outros ganhos (W)
Piso Cave	C.1	5	5	---
	C.2	10	5	1000
	C.3	40	5	---
Piso 0	0.1	5	5	---
	0.2	24	5	700
	0.3	20	5	250
Piso 1	1.1	24	5	700
	1.2	18	5	700
Piso 2	2.1	24	5	700
	2.2	18	5	700
Piso 3	3.1	24	5	700
	3.2	18	5	700
Piso 4	4.1	10	2	280
	4.2	6	2	280

5.2.1 Temperaturas interiores

Após a determinação da gama de temperaturas operativas e estabelecidos os limites máximos e mínimos das temperaturas de conforto, foram obtidas as temperaturas interiores para cada uma das zonas.

As figuras 29, 30, 31 e 32 permitem a visualização das temperaturas médias mensais para cada piso com sistema de climatização (c/sistema) e sem sistema de climatização (s/sistema). Desta forma é possível estimar as zonas que irão requerer mais recursos energéticos.

As tabelas com as informações detalhadas das temperaturas médias com e sem sistema de climatização encontram-se nas tabelas B1 e B2 (anexo B).

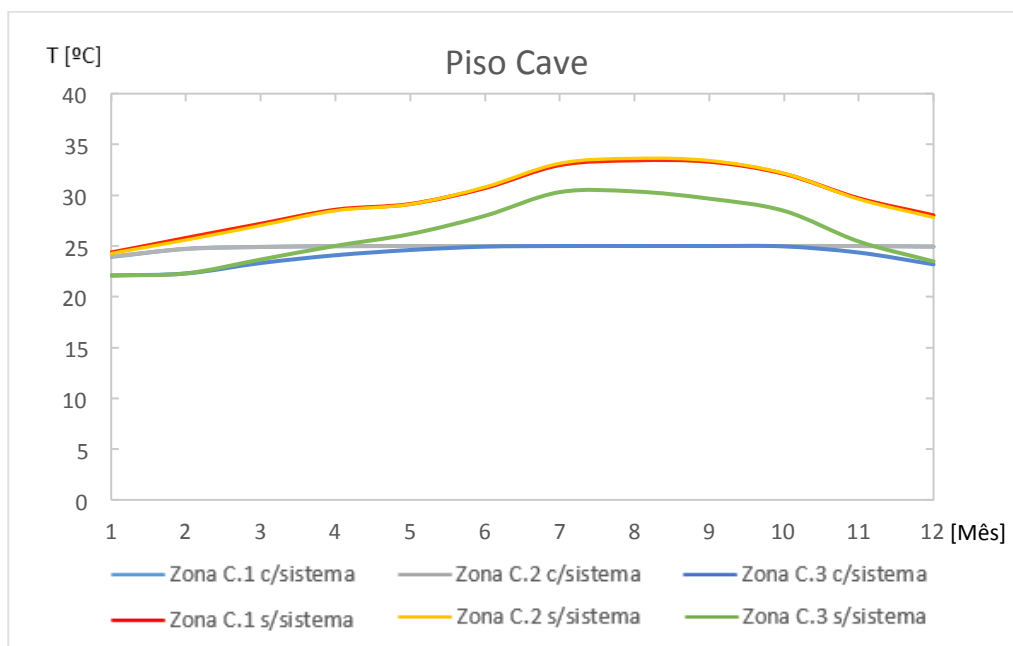


Figura 29 - Variação anual da temperatura interior das zonas do piso cave.

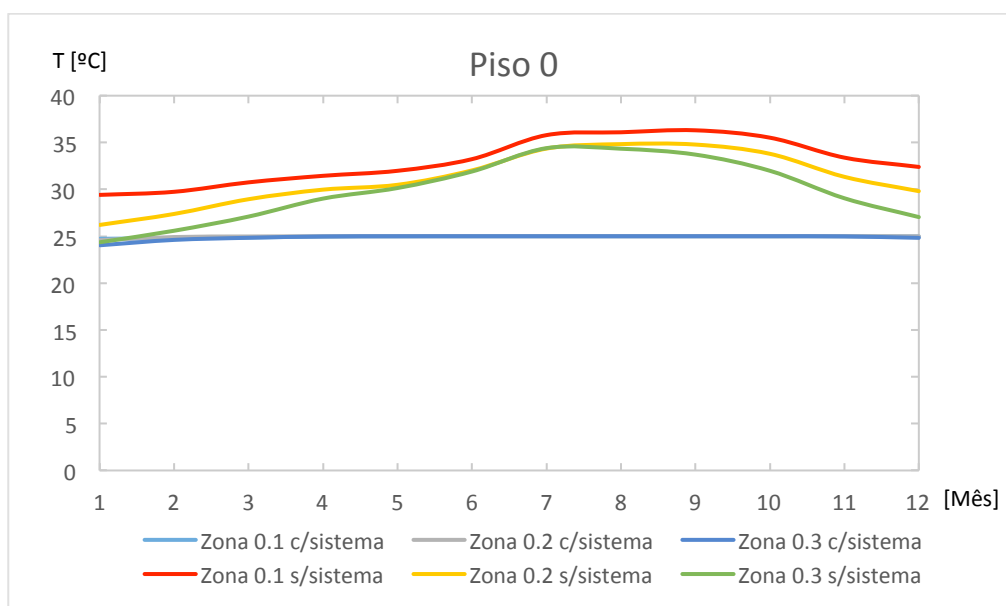


Figura 30 - Variação anual da temperatura interior das zonas do piso 0.

Visto que os valores respectivos aos pisos 1, 2 e 3 são semelhantes (estes pisos têm a mesma área, as mesmas divisões e a mesma percentagem de envidraçados) não se torna necessário explicitar a informação recolhida de cada um destes pisos.

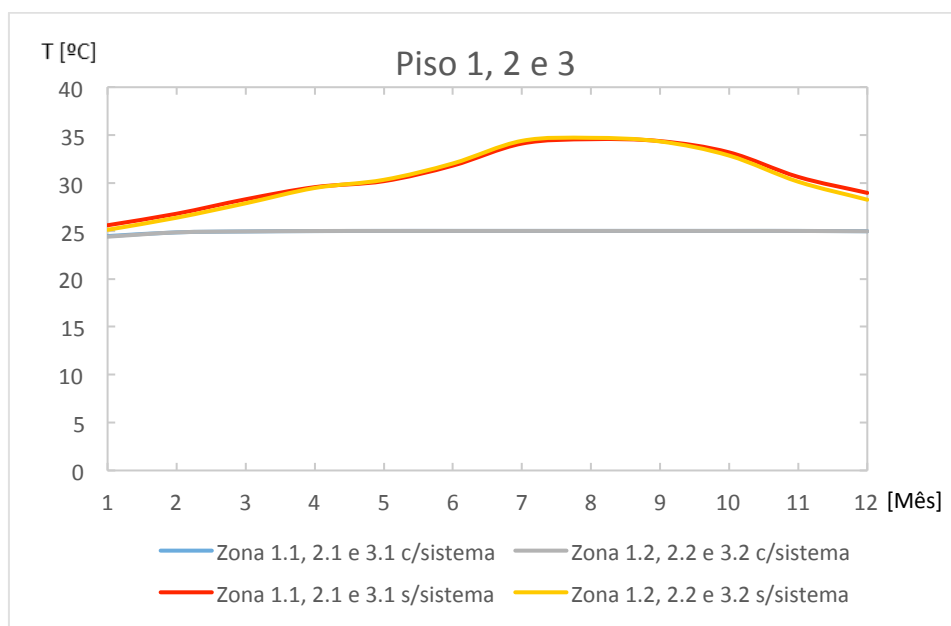


Figura 31 - Variação anual da temperatura interior das zonas do piso 1, 2 e 3.

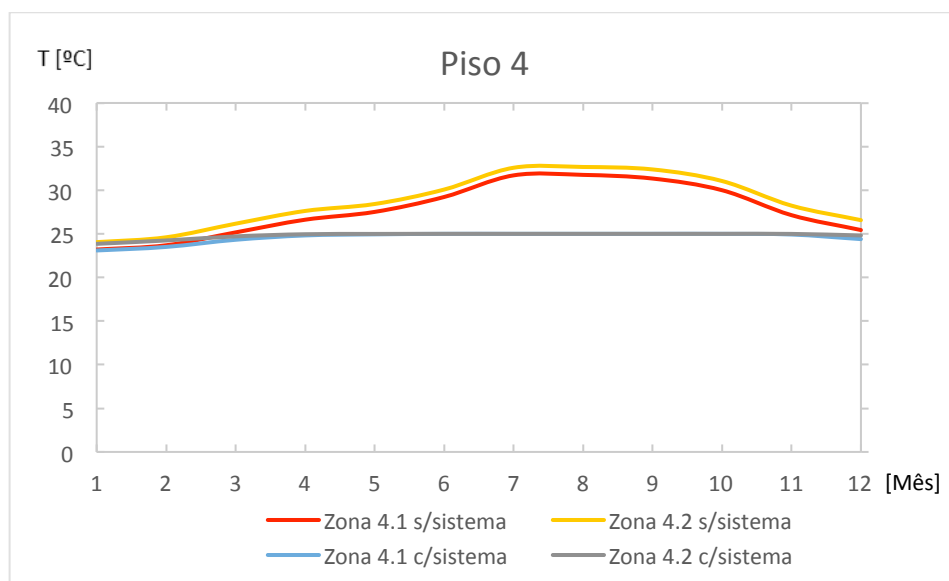


Figura 32 - Variação anual da temperatura interior das zonas do piso 4.

Visto que os valores para todas as zonas, com sistema de climatização, são semelhantes, pode não se denotar a diferença entre os seu traçados. Isto acontece por haver sobreposição das mesmas. Para se tentar explicar a variabilidade das temperatura do interior das diferentes zonas, as tabelas 8 e 9, apresentam os valores detalhados intradiários (da temperatura e da radiação que atravessa os envidraçados) para ambos os solstícios de inverno e verão, cujos valores foram obtidos através de simulações do TRNSYS.

Tabela 8 - Variação da temperatura interna e da radiação incidente nas zonas durante o solstício de Inverno.

		21 de Dezembro														
		Zona														
	Horas	C.1	C.2	C.3	0.1	0.2	0.3	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	Exterior
Temperatura (°C)	0	27.6	27.4	22.7	31.3	29.3	26.5	28.4	27.8	28.5	28.0	28.2	27.8	25.2	26.3	17.7
	4	27.4	27.2	22.4	30.5	28.8	26.2	28.1	27.5	28.3	27.8	28.0	27.6	25.0	26.1	17.2
	8	27.4	27.2	22.5	30.5	28.6	26.4	28.0	27.4	28.2	27.7	27.9	27.6	25.0	26.0	17.3
	12	27.9	27.7	24.2	33.2	29.6	27.5	28.9	28.3	28.8	28.3	28.4	28.0	25.5	26.6	20.3
	16	28.6	28.5	25.2	33.3	32.0	27.6	30.5	29.3	29.9	29.1	29.2	28.5	25.9	27.3	21.5
	20	27.8	27.6	23.3	30.7	29.5	26.8	28.7	28.1	28.7	28.2	28.3	28.0	25.3	26.4	19.8
	24	27.5	27.3	22.8	29.8	28.9	26.5	28.3	27.7	28.4	27.9	28.0	27.7	25.0	26.1	18.3
Radiação que atravessa os envidraçados (kWh/m ²)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	8	0.6	1.4	5.4	7.9	1.0	8.8	1.0	1.8	1.0	1.8	1.0	1.8	1.9	5.7	---
	12	6.8	8.2	18.9	18.8	7.8	15.5	7.8	5.5	7.2	5.5	7.2	5.5	5.2	9.1	---
	16	18.7	21.1	21.9	12.0	32.1	7.9	31.8	2.9	31.8	2.9	31.8	2.9	6.4	2.7	---
	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---

Tabela 9 - Variação da temperatura interna e da radiação incidente nas zonas durante o solstício de Verão.

		21 de Junho														
		Zona														
	Horas	C.1	C.2	C.3	0.1	0.2	0.3	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	Exterior
Temperatura (°C)	0	31.5	31.6	29.3	34.1	32.9	32.8	32.6	32.8	32.7	33.0	32.6	32.8	30.7	31.4	22.8
	4	31.1	31.2	28.4	33.2	32.3	32.2	32.0	32.3	32.3	32.6	32.2	32.5	30.2	31.0	20.5
	8	31.3	31.5	29.4	34.4	32.5	33.7	32.7	33.3	32.8	33.4	32.5	33.0	31.0	31.4	21.8
	12	32.0	32.2	31.0	38.7	33.9	34.6	33.7	33.9	33.5	33.9	33.2	33.4	31.3	32.1	26.1
	16	32.7	32.9	32.7	39.3	35.0	34.9	34.4	34.5	34.1	34.3	33.7	33.8	31.7	32.7	27.7
	20	32.1	32.3	30.5	35.3	34.0	33.9	33.5	33.7	33.4	33.7	33.3	33.4	31.4	32.1	25.0
	24	31.7	31.9	29.6	34.5	33.1	33.2	32.8	33.1	33.0	33.3	32.9	33.1	31.0	31.7	23.2
Radiação que atravessa os envidraçados (kWh/m ²)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	8	2.5	5.8	21.3	12.4	4.75	36.4	4.4	21.3	4.4	21.3	4.4	21.3	4.2	18.4	---
	12	4.7	6.2	20.7	12.4	11.4	19.3	10.7	8.2	10.7	8.2	10.7	8.2	3.6	12.6	---
	16	14.1	16.2	42.4	10.2	16.9	20.3	15.4	6.2	15.4	6.2	15.4	6.2	29.0	5.7	---
	20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---
	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---

O aumento da temperatura interna está relacionada com a quantidade de radiação incidente bem como o numero de horas de sol. Apesar de não estar demonstrado nestas tabelas devido ao *time step* escolhido, no mês de Junho há mais 50 horas de radiação solar do que no mês de Dezembro, levando a um aumento significativo da temperatura interna das diferentes zonas. Nesta simulação não foram considerados quaisquer tipos de sombreadores internos, apenas os existentes nas diferentes fachadas do edifício.[36]

5.2.2 Necessidades de arrefecimento

Os climas subtropicais são conhecidos por terem uma gama de temperaturas praticamente constante até ao Verão onde atingirão os seus máximos. Caso o sistema de arrefecimento não esteja bem dimensionado as temperaturas interiores podem atingir valores muito elevados.

Com este estudo será possível determinar as necessidades energéticas do edifício e saber a potência nominal a instalar, para manter as temperaturas entre 20°C e 25°C, tal como referido na ISO 7730. As necessidades mensais de arrefecimento para cada zona encontram-se nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10 – Variação anual das necessidades de arrefecimento dos pisos -1 e 0.

	Q_arref [MWh/mês]					
Mês	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3
Jan	0,16	0,59	0,00	1,52	1,16	0,20
Fev	0,47	1,06	0,05	1,42	1,46	0,79
Mar	1,13	1,93	0,30	1,72	2,33	1,94
Abr	1,42	2,26	0,53	1,72	2,30	3,12
Mai	2,10	3,08	1,34	2,07	2,91	4,82
Jun	2,70	3,73	2,33	2,24	3,38	5,97
Jul	4,01	5,19	4,30	3,08	4,67	8,42
Ago	3,83	5,02	4,15	3,09	4,60	7,76
Set	3,44	4,55	3,30	2,92	4,31	6,53
Out	3,12	4,23	2,55	2,99	4,25	5,34
Nov	1,68	2,62	0,59	2,31	2,91	2,49
Dez	1,01	1,83	0,09	2,06	2,38	1,11
Sum [MWh/ano]	25,1	36,1	19,5	27,2	36,7	48,5

Tabela 11 – Variação anual das necessidades de arrefecimentos dos restantes pisos (1, 2, 3 e 4).

Mês	Q_arref [MWh/mês]							
	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	0,68	0,39	0,69	0,39	0,59	0,34	0,00	0,05
Fev	1,01	0,73	1,00	0,72	0,88	0,64	0,04	0,19
Mar	1,75	1,36	1,80	1,39	1,77	1,34	0,36	0,72
Abr	1,97	1,71	2,05	1,80	2,09	1,76	0,62	1,03
Mai	2,69	2,40	2,77	2,49	2,84	2,46	1,49	1,76
Jun	3,25	2,90	3,33	2,97	3,41	2,96	2,35	2,41
Jul	4,59	4,04	4,66	4,11	4,77	4,10	4,06	3,81
Ago	4,50	3,90	4,57	3,95	4,66	3,95	3,82	3,61
Set	4,05	3,45	4,15	3,51	4,24	3,52	3,24	3,21
Out	3,77	3,08	3,86	3,11	3,92	3,11	2,59	2,77
Nov	2,31	1,80	2,38	1,79	2,42	1,80	0,76	1,25
Dez	1,66	1,17	1,70	1,14	1,67	1,13	0,18	0,58
Sum [MWh/ano]	32,2	26,9	33,0	27,4	33,3	27,1	19,5	21,4

A zona 0.1 devido à sua posição geográfica (fachada virada a Sul), à existência de muito envidraçado, recebendo muita radiação solar, e à falta de sombreamento, é uma das zona que requer mais atenção em termos de arrefecimento. A sua pequena área de pavimento (apenas 120 m²), juntamente com o facto de 64% da fachada Sul ser envidraçada, provoca um aumento substancial da temperatura interna, chegando a ser mais 10°C que a temperatura ambiente.

A zona 0.3 é a que requer maiores necessidades de arrefecimento isto acontece porque é a maior em área (720 m²) e tem a sua fachada principal virada a Oeste (muita radiação no durante todo o ano, figura 27) cuja parte envidraçada é cerca de 50% dessa área total.

Como a temperatura ambiente é bastante elevada durante o ano seria de esperar que as necessidades de arrefecimento fossem bastante elevada, algo que se verificou.

Os valores usados nas figuras 33, 34, 35 e 36 são correspondentes ao somatório de todas as necessidades de arrefecimento de cada mês, para um período anual servindo para comparação e verificação de alguma anomalia que possa ter ocorrido durante a elaboração deste projeto.

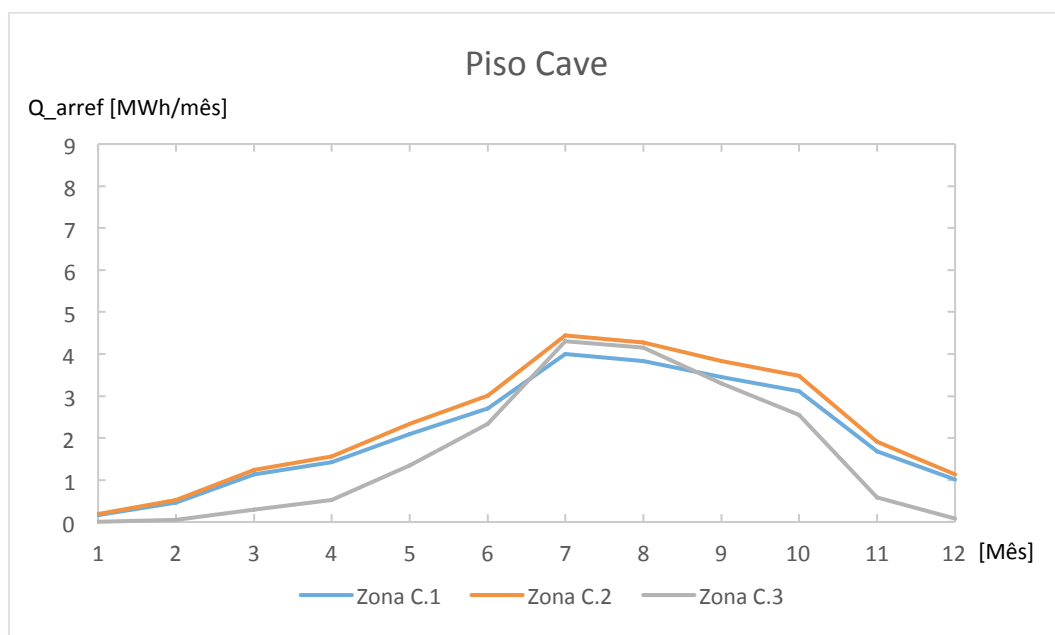


Figura 33 - Necessidades de arrefecimento do piso cave.

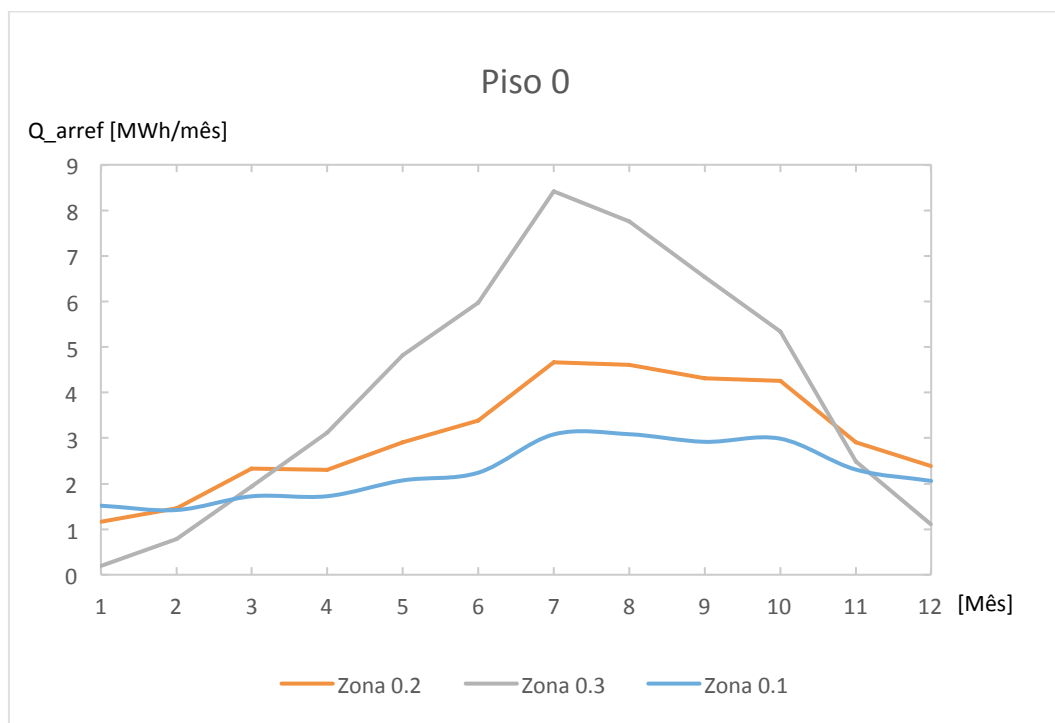


Figura 34 - Necessidades de arrefecimento do piso 0.

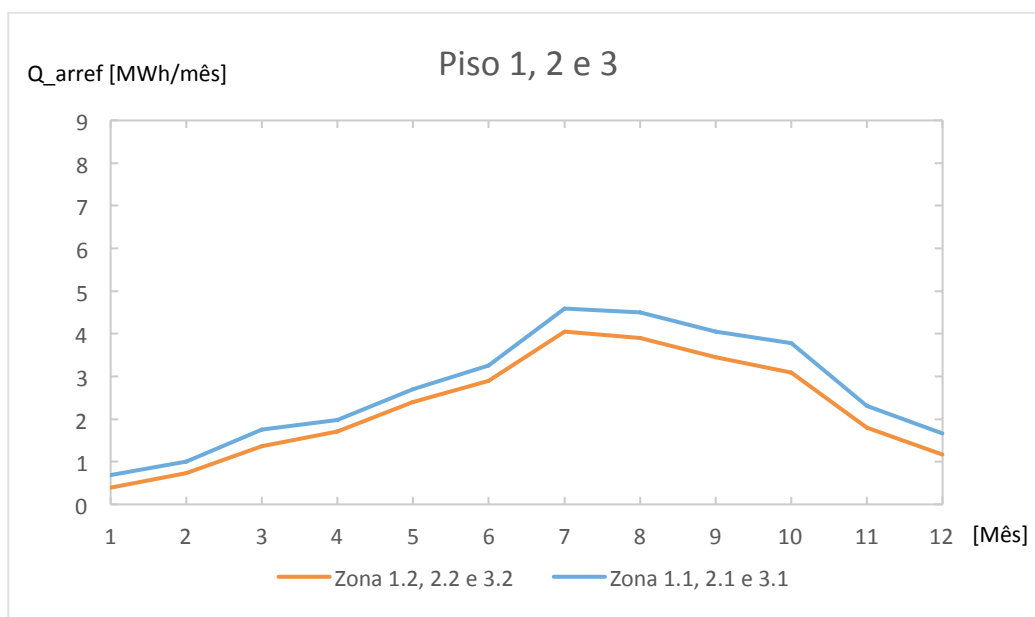


Figura 35 - Necessidades de arrefecimento do piso 1, 2, e 3.

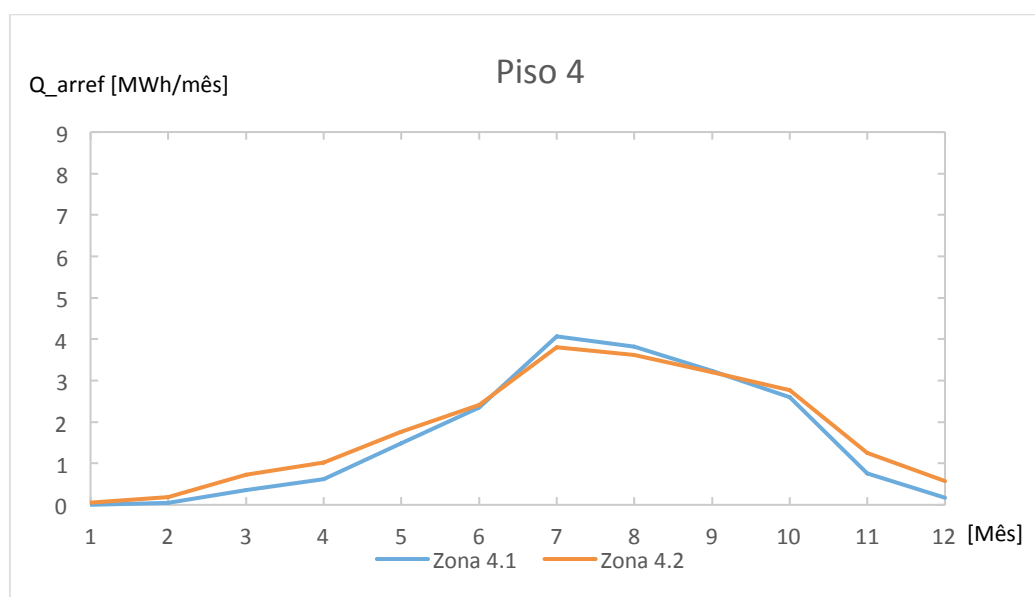


Figura 36 - Necessidades de arrefecimento do piso 4.

Através das tabelas 12, 13 e 14, é possível ter uma noção relativamente aos consumos energéticos de arrefecimento de cada zona e efetuar uma comparação entre elas.

Tabela 12 - Consumo energético para arrefecimento total do hotel.

Piso	Zona	Área [m ²]		Q_arref [MWh/ano]	Q_arref [kWh/ano.m ²]
		Da zona	Total		
Piso Cave	C.1	564	1482	25,07	54,43
	C.2	615		36,10	
	C.3	303		19,52	
Piso 0	0.1	123	1278	27,15	87,89
	0.2	420		36,67	
	0.3	735		48,47	
Piso 1	1.1	456	840	32,24	70,45
	1.2	384		26,94	
Piso 2	2.1	456	840	32,96	71,84
	2.2	384		27,38	
Piso 3	3.1	456	840	33,27	71,87
	3.2	384		27,11	
Piso 4	4.1	352	660	19,52	61,99
	4.2	308		21,39	
		Área Total	5940	Total	69,66

Como se pode verificar na tabela 12 os consumos energéticos de cada zona por unidade de área contêm algumas variações. Isto deve-se á posição geografica das suas fachadas bem como á percentagem de envidraçados nelas incluída. Para se calcularem as necessidades de arrefecimento por unidade de área, efetuou-se a divisão do somatório destas necessidades de cada piso pela área total do mesmo. Para as necessidades totais de arrefecimento do hotel aplicou-se o método da média ponderada.

Como foi descrito anteriormente (e aqui confirmado) piso 0 é o que requer mais atenção em termos energéticos. A quantidade de radiação incidente por unidade de área é muito mais elevada do que qualquer outro piso, levando a necessidades de arrefecimento muito mais elevadas. Os valores mais reduzidos da piso cave são devidos á falta de envidraçados e radiação solar incidente, principalmente nas zonas C.1 e C.2, sendo os seus ganhos solares muito mais reduzidos. Nos pisos 1, 2 e 3 os valores dos consumos são semelhantes como seria expectável visto que as zonas são praticamente simétricas.

Sendo considerado um hotel médio (84 quartos), as necessidades médias anuais por unidade de área são 69,66 kWh/m².ano.

5.2.3 Necessidades de aquecimento

Apesar do hotel estar situado numa zona de temperaturas muito amenas onde a temperatura média anual se encontra em valores bastante elevados, torna-se necessário haver a capacidade de aquecer o espaço. Este facto denota-se nos meses mais frios onde as temperaturas exteriores podem atingir valores de 14°C, sendo que esta quebra criará uma sensação de desconforto para os clientes do hotel caso este não esteja devidamente munido de um sistema de aquecimento.

Apesar do sistema a ser implementado ser capaz de suportar ambas as necessidades de aquecimento e arrefecimento, se este processo não for efetuado de forma correta haverá problemas a ambos os níveis.

Novamente usando o *Simulation Studio* foi possível determinar as necessidades mensais de aquecimento totais. As figuras 37 e 38 mostram a energia de aquecimento necessária para manter as temperaturas no interior, superiores a 20°C. Estas figuras encontram-se limitadas aos pisos cave e 4 visto que, nos restantes pisos, as necessidades de aquecimento são praticamente nulas (Ver tabelas B3 e B4).

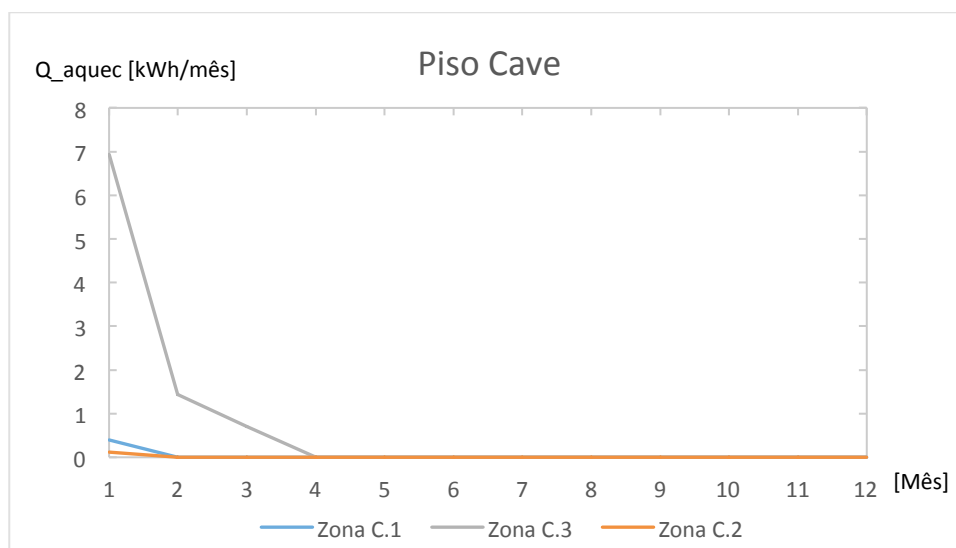


Figura 37 - Necessidades de aquecimento do piso cave.

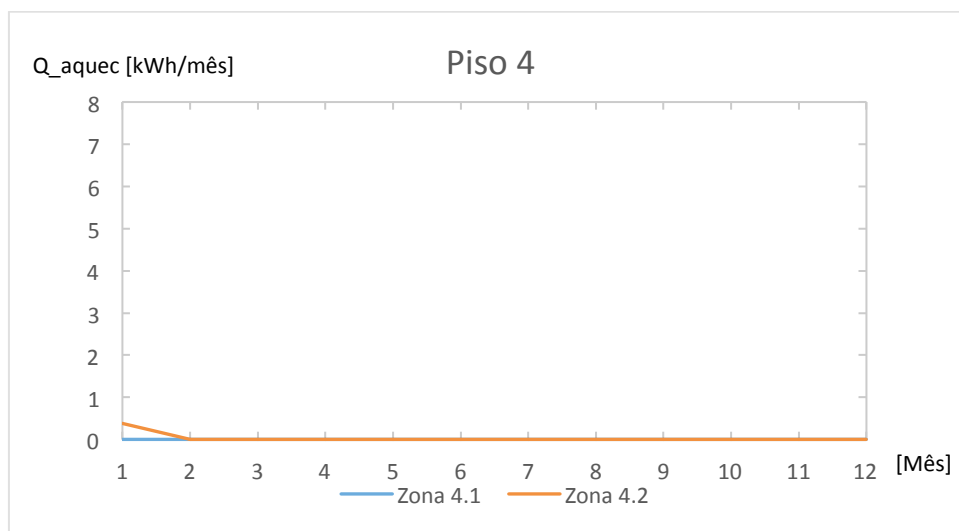


Figura 38 - Necessidades de aquecimento do piso 4.

Como seria de esperar as necessidades de aquecimento são quase nulas á exceção da zona C.3. O facto da temperatura ambiente ser bastante elevada durante todo o ano e adicionando os ganhos internos do próprio hotel reduzem quase por completo estas necessidades.

Relativamente á zona C.3 o valor relativamente elevado em comparação com as restantes zonas deve-se ao facto da sua fachada estar virada a Norte (havendo pouca radiação durante o Inverno), com cerca de 85% de envidraçado nessa zona, e ao fraco isolamento da proteção superior do restaurante. Isto provoca um aumento do calor libertado para o exterior

Visto que as necessidades de aquecimento do edifício são praticamente nulas é dispensável efetuar a comparação dos consumos de cada zona pois os valores obtidos seriam quase nulos.

5.3 Necessidades energéticas totais

Para se saber a potência do sistema a instalar era necessário efetuar primeiramente os cálculos de aquecimento e arrefecimento. Foram assim obtidos os valores máximos de aquecimento e arrefecimento para cada uma das zonas do hotel num período anual. Os valores colocados na tabela 13 são referentes ao pior período de cada zona tanto para aquecimento como arrefecimento, sendo que a potência do sistema tem de ser capaz de suprir todas as necessidades.

Através da tabela 13 pode-se verificar que é necessário um equipamento de aquecimento/arrefecimento com uma potência nominal na ordem dos 25 kW de forma a manter as temperaturas dentro do aceitável (manter as temperaturas no interior entre os 20 e os 25°C durante todo o ano, sem sombreamento e com uma taxa de renovações de ar de 0,6 por hora)

Tabela 13 – Necessidades energéticas máximas de cada zona e valor máximo anual do hotel.

Piso	Zona	P_arref (kW)	P_aquec (kW)
Piso Cave	C.1	11,73	0,40
	C.2	13,06	0,11
	C.3	16,86	0,85
Piso 0	0.1	9,52	0,14
	0.2	18,75	0,00
	0.3	24,43	0,00
Piso 1	1.1	14,61	0,00
	1.2	11,11	0,00
Piso 2	2.1	13,38	0,00
	2.2	10,68	0,00
Piso 3	3.1	12,48	0,00
	3.2	10,11	0,00
Piso 4	4.1	11,19	0,38
	4.2	10,25	0,42
	MAX=	24,43	0,85

Como os cálculos foram efetuados para uma ano típico é necessário ter em consideração possíveis variações ambientais, algo que tem acontecido muito nestes últimos anos, e por isso deve-se escolher um sistema com uma margem um pouco superior de forma a ser capaz de suportar estas possíveis alterações. Sendo assim a procura deverá ser para um sistema com uma potência a rondar os 30 kW.

5.4 Redução das necessidades energéticas

Agora que se encontra explícito a quantidade de energia necessária para manter o edifício dentro dos parâmetros regulamentares, torna-se necessário arranjar soluções para a redução das mesmas e o tipo de sistemas energéticos a implementar.

5.4.1 Soluções Passivas

Antes da implementação de qualquer sistema é necessário procurar soluções que não requeiram qualquer tipo investimento e possam assim ajudar a reduzi-las de forma passiva. A direção do hotel já utiliza este método, aumentando a taxa de renovação de ar, através da abertura das janelas levando a que haja uma ventilação natural cruzada.

Desta forma irá verificar-se a influência do aumento das renovações de ar, tal como já fazem no hotel, nas diferentes zonas do edifício e a sua capacidade de melhorar a sua eficiência energética. Os cálculos anteriores foram efetuados para uma taxa da renovação de ar de 0,6 [1/h] sendo que será efetuado um estudo para dois diferentes valores 1,2 e 1,8 [1/h] de forma a simular as condições já aplicadas pela direção do hotel.

- Taxa de renovação de ar 1,2 [1/h]

Aumentar a taxa de renovação de ar de 0,6 para 1,2 [1/h], significa aumentar a quantidade de ar novo que entra no edifício. Para além de ajudar a climatizar a zona dando uma sensação de brisa fresca aos utentes do hotel proporciona também um melhoramento da qualidade do ar interior.

As necessidades de arrefecimento anuais do hotel, para uma taxa de renovação de ar de 1,2 por hora encontram-se na tabela 14.

Na tabela 15 encontra-se compilados as potências necessárias de aquecimento e arrefecimento, para efeitos de escolha da potência do equipamento a instalar. Como se pode verificar os valores máximos de arrefecimento e aquecimento são superiores aos valores obtidos para uma taxa de renovação de ar inferior (Tabela 13). Isto é devido á constante entrada de ar (todas as horas do ano) nas diferentes zonas, algo que nem sempre é benéfico.

Como seria de esperar, aumentando a taxa de renovação de ar de 0,6 para 1,2 por hora, dá-se uma diminuição das necessidades anuais de energia (de 69,66 kWh/m².ano para 56,78 kWh/m².ano). Apesar destes não serem muito significativos, qualquer tipo de melhoria energética que não requeira investimento adicional, sem qualquer contrapartida, deve ser aprovada.

Tabela 14 - Consumo energético de arrefecimento para uma taxa de renovação de ar de 1,2 [1/h].

Piso	Zona	Área [m ²]		Q_arref [MWh/ano]	Q_arref [kWh/ano.m ²]
		Da zona	Total		
Piso Cave	C.1	564	1482	18,81	43,31
	C.2	615		27,14	
	C.3	303,4		18,25	
Piso 0	0.1	122,5	1278	24,96	74,38
	0,2	420		29,78	
	0,3	735		40,28	
Piso 1	1,1	456	840	25,84	56,42
	1,2	384		21,55	
Piso 2	2,1	456	840	25,99	56,87
	2,2	384		21,78	
Piso 3	3,1	456	840	26,17	56,67
	3,2	384		21,43	
Piso 4	4,1	352	660	17,09	53,45
	4,2	308		18,19	
		Área Total	5940	Total	56,78

Informação mais detalhada relativamente aos valores mensais de cada zona da tabela 14 , encontra-se nas tabelas (B5 e B6).

Tabela 15 - Necessidades energéticas máximas de cada zona e valor máximo anual para uma taxa de renovações de 1.2 [1/h].

Piso	Zona	P_arref (kW)	P_aquec (kW)
Piso Cave	C.1	14,43	1,31
	C.2	17,16	0,11
	C.3	18,29	2,66
Piso 0	0.1	9,82	0,34
	0.2	19,59	0,00
	0.3	28,14	0,95
Piso 1	1.1	16,47	0,02
	1.2	13,67	0,08
Piso 2	2.1	15,33	0,17
	2.2	13,23	0,39
Piso 3	3.1	14,97	0,33
	3.2	12,65	0,36
Piso 4	4.1	13,30	0,95
	4.2	11,71	0,92
MAX=		28,14	0,95

Nas alturas de maior calor, a entrada de ar exterior que esteja a uma temperatura superior á temperatura máxima de conforto considerada, de 25°C, provocará um aumento da potência de arrefecimento (tabela 15). A razão pela qual o consumo não é superior, deve-se aos curtos períodos de tempo em que esta entrada de ar acontece, cerca de 6 horas entre o fim da manhã e fim da tarde nos dias mais quentes do ano, estando em conformidade térmica no restante tempo.

Como forma de controlo, as aberturas de ar deveriam ser regulada pela temperatura exterior, menor nas temperaturas extremas (abaixo de 15°C e acima de 30°C) e maior nas temperaturas próximas da gama operativa ou , caso não se pretenda um investimento nesta matéria, reduzir ou fechar completamente estas aberturas nas horas de maior calor, por exemplo das 11 horas ás 17 horas, utilizando-se nessa altura apenas o sistema de refrigeração.

- Taxa de renovação de ar 1,8 [1/h]

De seguida foi efetuada a ultima simulação referente á variação das taxas de renovação de ar, para um valor de 1,8 [1/h].

Na tabela 16 encontram-se os valores referentes ao consumo anual por unidade de área de cada piso, juntamente com a potência do sistema de aquecimento/arrefecimento a instalar para manter as temperatura dentro da gama operativa de conforto. As necessidades energéticos mensais para uma taxa de renovação de 1,8 [1/h] encontram-se nas tabelas (B7 e B8).

Como se pode verificar, o fenómeno anterior volta novamente a acontecer sendo que desta vez a redução das necessidades de arrefecimento por unidade de área foi maior (de 69,66 kWh/m².ano para 49,36 kWh/m².ano), com o conseqüente aumento da potência a instalar. Os valores referentes ás necessidades de aquecimento não foram incluídos na tabela 16, o seu pequeno valor não iria ter preponderância na determinação dos cálculos das necessidades energéticas finais.

Tabela 16 - Consumo e potência energética de arrefecimento para uma taxa de renovações de 1,8 [1/h].

Piso	Zona	Área [m ²]		Q_arref [MWh/ano]	Q_arref [kWh/ano.m ²]	P_arref [kW]	
		Da zona	Total				
Piso Cave	C.1	564	1482	16,02	37,82	18,1	
	C.2	615		22,65		21,2	
	C.3	303,4		17,40		19,7	
Piso 0	0.1	122,5	1278	23,09	65,64	10,3	
	0.2	420		25,35		21,2	
	0.3	735		35,42		32,5	
Piso 1	1.1	456	840	22,07	48,27	19,1	
	1.2	384		18,48		16,2	
Piso 2	2.1	456	840	21,96	48,23	18,4	
	2.2	384		18,55		15,8	
Piso 3	3.1	456	840	22,11	47,99	18,0	
	3.2	384		18,20		15,2	
Piso 4	4.1	352	660	15,71	48,36	15,6	
	4.2	308		16,21		13,7	
		Área Total	5940	Total	49,36	Max	32,5

A escolha do tipo de instalação deve ser ponderada e devem ser avaliados os seus custos, bem como a projeção da poupança de energia e custo da mesma, de forma a ser possível determinar a melhor solução a curto e a longo prazo. Como esse não é o objetivo deste projeto irá ser escolhida a situação apresentada como intermédia (taxa de renovação de 1,2 [1/h]) sendo esta a base para tornar o hotel Tigaiga num NZEB. Isto porque, como foi mencionado anteriormente, o arrefecimento do hotel é feita maioritariamente através da abertura de janelas e usando um valor tão baixo como 0,6 [1/h] de taxa de renovação não corresponde à realidade.

- Adição de sombreadores nas fachadas da zona 0.1

Outra forma de redução das necessidades energéticas é através do controlo da quantidade de radiação incidente nas diferentes zonas. Como o maior pico se dá na zona 0.1 irá ser verificada a influência do envidraçado da fachada sul para o calculo das necessidades energéticas. Para se efetuar o controlo da quantidade de radiação incidente na zona, serão

colocados sombreadores em todas as suas fachadas envidraçadas que reduzam em 95% a radiação incidente nos envidraçados. Este valor foi escolhido por ser extremamente difícil anular toda a radiação solar incidente numa zona sendo que uma pequena percentagem de radiação acaba sempre por escapar.

Esta alteração na estrutura da zona 0.1 provocará um decréscimo significativo na quantidade de radiação que afeta o espaço visto que a maior parte da radiação é bloqueada pelo sombreador (cortinados, persianas, etc.), reduzindo o efeito de estufa que se poderia formar no seu interior.

Como se pode verificar pela tabela 17, o sombreador interior dos envidraçados da zona 0.1 implicaria uma redução significativa das necessidades de arrefecimento por unidade de área do piso 0, de 87,89 (tabela 12) para 71,15 kWh/m².ano (tabela 17), reduzindo consequentemente as necessidades totais do hotel.

Tabela 17 - Consumo e potência energética de arrefecimento para um sombreamento da zona 0.1.

Piso	Zona	Área [m ²]		Q_arref [MWh/ano]	Q_arref [kWh/ano.m ²]	P_arref [kW]	
		Da zona	Total				
Piso Cave	C.1	564	1482	18,37	42,99	10,4	
	C.2	615		27,11		19,5	
	C.3	303,4		18,25		28,1	
Piso 0	0.1	122,5	1278	21,26	71,15	16,5	
	0.2	420		29,50		13,7	
	0.3	735		40,13		15,3	
Piso 1	1.1	456	840	25,83	56,40	13,2	
	1.2	384		21,55		15,0	
Piso 2	2.1	456	840	25,98	56,85	12,6	
	2.2	384		21,77		14,4	
Piso 3	3.1	456	840	26,17	56,67	17,2	
	3.2	384		21,43		18,3	
Piso 4	4.1	352	660	17,08	53,44	13,3	
	4.2	308		18,19		11,7	
		Área Total	5940	Total	56,00	Max	28,1

5.4.2 Caso especial

Apesar de todas as simulações apontarem a grandes necessidades de arrefecimento em todas as zonas do hotel, sendo as necessidades de aquecimento praticamente nulas, de acordo com o diretor do hotel isto não acontece na realidade. O facto da maioria dos clientes deste hotel serem pessoas idosas que procuram a ilha de Tenerife devido ao seu clima subtropical nos meses de inverno, algo que nem sempre se verifica, torna-as vulneráveis a pequenas variações de temperatura.

Esta faixa etária encontra-se um pouco à parte do grupo de determinação das temperaturas de conforto. Isto deve-se ao facto da sua sensibilidade térmica ser muito maior, apresentando maior desconforto quando as temperaturas são mais reduzidas, principalmente no período noturno. O facto de levarem uma vida mais sedentária intensifica o fator descrito anteriormente, aumentando a sensação de desconforto térmico.

Na tabela 18 foi efetuada uma simulação para uma temperatura mínima de aquecimento de 24°C (abaixo da qual entra em funcionamento a bomba de calor de forma a aquecer a zona necessária) de forma a aumentar a temperatura média do hotel, estando mais adaptado a todo o tipo de clientes.

Tabela 18 - Consumo e potência para aquecimento.

Piso	Zona	Área [m ²]		Q_aquec [kWh/ano]	Q_aquec [kWh/ano.m ²]	P_aquec [kW]	
		Da zona	Total				
Piso Cave	C.1	564	1482	3,26	9,78	16,0	
	C.2	615		1,74		15,6	
	C.3	303,4		9,49		8,7	
Piso 0	0.1	122,5	1278	1,51	4,76	3,9	
	0.2	420		1,00		10,5	
	0.3	735		4,54		16,7	
Piso 1	1.1	456	840	1,59	3,52	10,8	
	1.2	384		1,37		9,7	
Piso 2	2.1	456	840	1,13	2,68	12,3	
	2.2	384		1,12		11,1	
Piso 3	3.1	456	840	0,98	2,32	12,8	
	3.2	384		0,97		11,5	
Piso 4	4.1	352	660	4,73	10,58	11,7	
	4.2	308		2,25		10,8	
		Área Total	5940	Total	5,84	Max	16,7

Estes cálculos foram efetuados apenas para as necessidades de aquecimento sendo possível compará-los com os resultados obtidos anteriormente

Apesar deste aumento da potência de aquecimento, de um valor praticamente nulo (tabela 13) para 16,7 kW, pode-se verificar que a bomba escolhida anteriormente (cerca de 32 kW de potência de aquecimento e arrefecimento) será capaz de suportar todas estas necessidades. Para além da bomba de calor, o hotel conta também com os coletores solares térmicos sendo estes capazes de suprimir as necessidades de aquecimento em grande parte dos dias, através da circulação de água quente por radiadores de parede.

5.4.3 Soluções renováveis

Visto que nem todas as necessidades energéticas são anuladas através de soluções passivas é imperativa a instalação de sistemas que o possam fazer. Como o objetivo deste projeto é a renovação do hotel para que este tenha um consumo energético quase nulo, é crucial que os sistemas a serem instalados sejam sistemas de energias renováveis.

Atualmente o hotel conta com uma bomba de calor água-água para a climatização do espaço interior. Usa também os coletores solares para o aquecimento de água doméstica, caso estes não sejam capazes de suprir todas as necessidades instantâneas do hotel, utiliza-se uma caldeira a gásóleo como auxiliar.

Desta forma foi escolhida a instalação de painéis fotovoltaicos, em locais estratégicos, para a produção de energia elétrica e de uma bomba de calor ar-ar para a climatização do espaço interior.

- **Produção de Eletricidade**

A solução ideal para a instalação dos painéis fotovoltaicos seria a cobertura do edifício, algo que não seria possível devido ao sistema de coletores solares térmicos que lá se encontra instalado. Sendo assim era necessário arranjar alternativas para a criação deste pequeno sistema fotovoltaico.

O espaço da cobertura da zona 1.1 encontra-se livre sendo possível a instalação de 70 m². A criação de um sombreamento para os automóveis do parque no exterior do hotel

permite a instalação cerca de 140 m^2 e a substituição dos coletores solares inoperacionais da cobertura permitem a instalação de 70 m^2 , para um total de 280 m^2 , valor bastante significativo. A figura 39 demonstra a posição dos painéis na planta do edifício.



Figura 39 - Vista aérea do hotel com delineamento das zonas de colocação de painéis fotovoltaicos

Escolhido o tipo de painel a instalar [38] (cujo catálogo se encontra na Figura C2) é necessário estimar a produção destes e verificar que efeito teriam na redução das necessidades elétricas do hotel. Na figura 25 encontra-se a modelação deste sistema no *software* TRNSYS, cujos valores obtidos se encontram na tabela 19.

As simulações foram efetuadas para duas inclinações diferentes dos painéis, angularidade nula 0° e igual à latitude do hotel 29° .

Como seria de esperar, a escolha de um ângulo de inclinação igual à latitude do hotel, permite tirar o melhor proveito da eficiência e produção do painel fotovoltaico. O espaçamento de cerca de dois metros entre as duas faixas de painéis situadas na cobertura da zona 0.1 permite uma captação máxima da radiação solar, não havendo interferências de sombreamento entre elas.

Tabela 19 - Produção e potência instalada dos painéis fotovoltaicos.

nº de módulos	144	
Área [m²]	280	
Produção elétrica [MWh]		
Mês	Inclinação 0º	Inclinação 29º
Jan	4,56	5,90
Fev	4,62	5,48
Mar	5,85	6,22
Abr	6,34	6,26
Mai	7,04	6,61
Jun	6,66	6,05
Jul	7,18	6,64
Ago	6,01	5,83
Set	5,66	5,83
Out	5,53	6,22
Nov	4,48	5,70
Dez	4,32	5,96
Sum	68,24	72,68
Potência instalada		
nº horas de Sol [h]	2682	
Potência [kW]	25,44	27,10

Através da verificação da declaração ambiental do hotel [33], onde se encontra explícito o consumo elétrico do hotel, é possível determinar a influência que esta implementação terá na redução dos gastos elétricos. Para uma potência instalada de 27,1 kW e uma produção anual de cerca 72,68 MWh, reduzem em cerca de 12% os gastos referentes ao consumo de eletricidade cujo total para o ano de 2015 foi de 615 MWh [33].

Em termos financeiro é um fator muito importante visto que o preço da eletricidade continua a aumentar significativamente tornando este tipo de instalação fulcral para redução de custos e ao mesmo tempo permite um maior retorno financeiro a longo prazo.

- Escolha da bomba de calor

Após a determinação da produção elétrica do campo fotovoltaico a instalar no hotel torna-se necessário suprir as necessidades energéticas. Para isso seria escolhida uma bomba de calor que, devido á sua eficiência e consumos reduzidos, permitisse satisfazer todas as necessidades facilmente.

Depois de um cuidadoso estudo dos variados tipos de bomba de calor existente, a escolha recai sobre uma *air-source heat pump* ou seja uma bomba de calor ar-ar, cuja informação detalhada se encontra na Figura C3 (anexo C). Esta é mais adequada para climas quentes melhorando a sua eficiência e também desumidifica o ar á medida que é tratado, fator importante visto que a humidade da zona Norte da ilha ronda os 70% , sendo de simples instalação e pode facilmente ser colocada na cobertura do edifício.

De acordo com os valores obtidos para uma taxa de renovação de ar de 1,2 [1/h], a potência requerida para suprir as necessidades energéticas do edifício é de 28,2 kW. Como foi mencionado anteriormente os cálculos foram efetuados para um ano médio, facto este que pode ser problemático caso um ano em causa seja muito atípico, sendo assim , como margem de segurança, aumenta-se o valor obtido em cerca de 10% (passando a rondar os 32 kW) para assim ser capaz de suster estas variações.

Esta sugestão seria a mais apelativa e económica para o hotel, mas a existência de uma bomba de calor água-água com recuperador de calor inviabiliza a instalação da bomba de calor mais adequada. Esta tem uma potência de aquecimento de 117 kW e de arrefecimento de 94,4 kW, valores muito elevados que facilmente são capazes de suprir as necessidades de climatização. A informação desta bomba de calor água-água encontra-se na Figura C1 (anexo C) .

5.5 Balanço final

Após a determinação de todas as necessidades energéticas e elétricas do hotel é necessário verificar se as alterações efetuadas são suficientes para torna-lo num NZEB. Através da declaração energética do ano 2015 [33], é possível verificar o consumo total do hotel bem como a influência das diferentes parcelas energéticas.

As equações (1) e (2) representam, respetivamente, o a energia total consumida, proveniente de fontes não renováveis, pelo hotel num período anual e a energia total produzida pelos sistemas renováveis instalados.

Sendo que a primeira parcela da equação (1) corresponde ao consumo de eletricidade, seguida do consumo gasóleo (utilização para aquecimento de água doméstica através de uma caldeira a gasóleo) e do propano (utilizado nos equipamentos de cozinha).

- $E_{\text{totalcons}} = 615,5 + 497,0 + 31,1 = 1143,6 \text{ [MWh/ano]} \quad (1)$

Na equação (2), a primeira parcela corresponde á produção de energia dos coletores solares térmicos, seguida da produção elétrica dos painéis fotovoltaicos.

- $E_{\text{totalprod}} = 107 + 73 = 180 \text{ [MWh/ano]} \quad (2)$

Para que se pudesse considerar este edifício como NZEB, a diferença entre a energia consumida e produzida deveria encontrar-se próxima de zero. Desta forma pode-se afirmar que o hotel não é um NZEB, sendo necessária a implementação de mais sistemas renováveis ou substituição dos equipamentos mais antigos por sistemas de melhor eficiência energética.

De forma a verificar se o consumo elétrico hotel estimado, durante a modelação do edifício, se aproxima da realidade, será efetuado um estudo do consumo elétrico num período anual para dois casos distintos:

- Caso 1 – Bomba de calor ar-ar escolhida para este projeto.
- Caso 2 – Bomba de calor água-água existente no hotel.

O consumo estimado dos equipamentos elétricos do hotel é o mesmo para ambos os casos, sendo que a potência considerada para os mesmos se encontra na tabela 7. Foi considerado também que os equipamento estavam em funcionamento contínuo, ou seja 8760 horas por ano.

As equações (3), (4) e (5), apresentam os cálculos de consumo elétrico para os 3 conjuntos seguintes:

- $$\begin{aligned} \text{Iluminação} &= (5 \text{ [W/m}^2\text{]} * 5280 \text{ [m}^2\text{]} + 2 \text{ [W/m}^2\text{]} * 460 \text{ [m}^2\text{]}) * 8760 \text{ [h]} \\ &= 239,4 \text{ [MWh/ano]} \end{aligned} \quad (3)$$

- $$\begin{aligned} \text{Equip. Eletrónicos} &= (700 \text{ [W]} * 7 + 280 \text{ [W]} * 2 + 250 \text{ [W]}) * 8760 \text{ [h]} \\ &= 50,0 \text{ [MWh/ano]} \end{aligned} \quad (4)$$

- $$\begin{aligned} \text{Equip. Cozinha} &= 1000 \text{ [W]} * 8760 \text{ [h]} \\ &= 8,8 \text{ [MWh/ano]} \end{aligned} \quad (5)$$

- $$\text{Total} = 239,4 + 50,0 + 8,8 = 298,2 \text{ [MWh/ano]}$$

Após a determinação do consumo elétrico dos equipamentos existentes, falta agora determinar o consumo elétrico da bomba de calor, para isto basta saber a potência da bomba de calor e o número de horas de funcionamento da mesma (considerando que funciona sempre na máxima carga).

Sendo assim a tabela 20 apresenta os valores correspondentes á potência de ambas as bombas, com a particularidade dos cálculos se efetuarem para duas situações diferentes. Foram determinadas as horas de funcionamento para a taxa de renovação de ar escolhida anteriormente (Tabela 14) de 1,2 [1/h] e para o caso especial (Tabela 18) explicitado pelo diretor do hotel, no qual se calcularam as necessidades para uma temperatura mínima de conforto de 24°C (havendo apenas aquecimento do espaço).

Tabela 20 - Informação das bombas e seu tempo de utilização.

	Potência da bomba [kW]		COP	Taxa de renovação de 1,2 [1/h]		Temp. mínima de conforto de 24°C
	Aquec.	Arref.		Nº de horas T<20°C	Nº de horas T>25°C	Nº de horas T<24°C
Caso 1	39,6	35,2	3,5	23	8708	2594
Caso 2	117	94,9	5,3			

Tabela 21 - Energia consumida por cada bomba para satisfazer as necessidades energéticas do hotel

	Taxa de renovação de 1,2 [1/h]			Temp. mínima de conforto de 24°C
	E_aquec [MWh/ano]	E_arref [MWh/ano]	Total [MWh/ano]	E_arref [MWh/ano]
Caso 1	0,9	306,5	307,4	102,7
Caso 2	2,7	826,4	829,1	303,5

Para que o valor se aproxime do consumo real do hotel, a bomba de calor teria de consumir cerca de 315 MWh/ano de energia. Comparando este valor com os resultados obtidos na tabela 21, a bomba ar-ar escolhida para as condições finais estabelecidas (Tabela 14), bem como a utilização da bomba de calor existente para as condições descritas pelo diretor do hotel, se aproximam da realidade.

Visto que os cálculos da tabela 21 foram efetuados para um funcionamento, da bomba de calor, em plena carga (algo que não acontece). Assim é possível calcular o consumo da bomba de calor através do COP (coeficiente de performance) e das necessidades de arrefecimento.

$$\bullet \quad COP = \frac{Q_{total}}{E_{total}} \Leftrightarrow E_{total} = \frac{Q_{total}}{COP} \quad (6)$$

Desta forma as tabelas 22 e 23 apresentam os valores do consumo elétrico, para os casos considerados anteriormente:

Tabela 22 - Consumo elétrico das bombas de calor para o caso 1.

Caso 1				
	COP	Q_total [kWh/ano.m ²]	E_total	
			[kWh/ano.m ²]	[MWh/ano]
Taxa de renovação de 1,2 [1/h]	3,5	56,78	16,22	96,36
Temp. mínima de conforto de 24°C		5,84	1,67	9,91

Tabela 23 - Consumo elétrico das bombas de calor para o caso 2.

Caso 2				
	COP	Q_total [kWh/ano.m ²]	E_total	
			[kWh/ano.m ²]	[MWh/ano]
Taxa de renovação de 1,2 [1/h]	5,3	56,78	10,71	63,64
Temp. mínima de conforto de 24°C		5,84	1,10	6,55

Tal como foi mencionado anteriormente, os cálculos anteriores foram efetuado para um funcionamento em plena carga da bomba de calor, algo que não se verifica. Sendo esta redução (por exemplo, de 307,4 MWh/ano para 96,36 MWh/ano) bastante significativa.

De ter em conta que não foram considerados alguns equipamentos como secadores de cabelo, maquinas de lavar roupa, louça, ferros de passar a roupa, etc, isto juntamente com o facto de não ter informações concretas da utilização dos equipamentos considerados, esta foi a razão da discrepância nos valores obtidos. Visto que há uma grande disparidade de valores em ambos os casos, foi considerado o valor de 615 MWh/ano da declaração ambiental do

hotel [33] menos a produção elétrica do painel fotovoltaico 72,7 MWh/ano para um valor total de 542,3 MWh/ano, relativo ao consumo elétrico do edifício.

A tabela 24 [39] apresenta valores relativos aos diferentes parâmetros da eficiência energética dos hotéis. Visto que o hotel tem 84 quartos, com uma área superficial total de 5940 m², o consumo elétrico por unidade de área será de 91,3 kWh/ano.m². Desta forma é possível afirmar que o hotel tem uma eficiência elétrica fraca.

Tabela 24 - Rating de eficiência par hotéis [39].

Rating de eficiência	Bom	Razoável	Fraco	Muito fraco
Grandes hotéis (mais de 150 quartos)				
Eletricidade [kWh/m ² .ano]	<165	165-200	200-250	>250
Combustível [kWh/m ² .ano]	<200	200-240	240-300	>300
Total [kWh/m ² .ano]	<365	365-440	440-550	>550
Água quente [kWh/m ² .ano]	<220	230-280	280-320	>320
Hotéis médios (entre 50-150 quartos)				
Eletricidade [kWh/m ² .ano]	<70	70-90	90-120	>120
Combustível [kWh/m ² .ano]	<190	190-230	230-260	>260
Total [kWh/m ² .ano]	<260	260-320	320-380	>380
Água quente [kWh/m ² .ano]	<160	160-185	185-220	>220
Hotéis pequenos (entre 4-50 quartos)				
Eletricidade [kWh/m ² .ano]	<60	60-80	80-100	>100
Combustível [kWh/m ² .ano]	<180	180-210	210-240	>240
Total [kWh/m ² .ano]	<240	240-290	290-340	>340
Água quente [kWh/m ² .ano]	<120	120-140	140-160	>160

6 Conclusões

Durante a realização deste projeto foi possível trabalhar com o *software* TRNSYS e Meteonorm. Esta conjugação permite efetuar simulações de diferentes aspectos térmicos dos edifícios e obter resultados muito fiáveis.

O *software* TRNSYS é muito útil para a modelação de edifícios sendo possível definir todos os materiais de construção, os sombreamentos externos e internos, a orientação do edifício, os ganhos internos de cada zona, a quantidade de infiltrações etc. Para além disto é possível efetuar a modelação no Google Sketch 3D, *software* de modelação de edifícios a 3D, que permite uma maior aproximação da realidade. Na modelação do edifício foram usadas as plantas do edifício, lista de materiais de construção e equipamentos existentes, que foram disponibilizadas pela própria direção do hotel.

Após a determinação das temperaturas operativas de conforto, entre 20°C e 25°C, foram efetuadas as primeiras simulações para a variação da temperatura interna de cada zona, com uma taxa de infiltrações de 0,6 por hora. Com isto foi possível verificar que a quantidade de energia necessária, para manter o edifício dentro da gama operativa, era bastante elevada (cerca de 69,7 kWh/ano.m²).

Desta forma tornou-se necessário arranjar soluções para reduzir este consumo. O aumento da taxa de renovação de ar em cada zona permitiu reduzi-lo significativamente, de cerca de 56,8 MWh/ano.m² para uma taxa de renovações de 1,2 por hora e cerca de 49,4 MWh/ano.m² para uma taxa de 1,8 por hora. Consequentemente esta redução do consumo energético provocou um aumento da potência a instalar, acabando por se escolher a taxa de renovações de 1,2 por hora, sendo este o caso intermédio.

Após uma reunião com o diretor do hotel, recebeu-se a informação de que as necessidades de arrefecimento do hotel eram facilmente supridas através de ventilação cruzada, sendo que tinham maiores dificuldades a lidar com o aquecimento. Neste caso especial, optou-se por estabelecer uma temperatura mínima de conforto de 24°C. Efetuando-se um estudo das necessidades de aquecimento verificou-se um aumento substancial das mesmas (de 0 para 5,8 kWh/ano.m²).

Efetuada todas as simulações energéticas do hotel, foi escolhida uma bomba de calor ar-ar de forma a suprimi-las. Sendo que uma potência nominal de 39,6 kW para aquecimento e 35,2 kW para arrefecimento era suficiente para o fazer.

A existência de uma bomba de calor água-água, já instalada no hotel, com uma potência nominal de 117 kW para aquecimento e 94,9 kW para arrefecimento era também suficiente para a satisfazer as necessidades energéticas do hotel. Não sendo rentável efetuar a substituição da mesma.

O aproveitamento de espaço livre no hotel permitiu a instalação de painéis fotovoltaicos com uma potência 27,1 kW, uma área instalada de 280 m², capazes de suprir cerca de 12% do consumo elétrico total do hotel (72,68 MWh/ano). Além disso, os painéis fotovoltaicos instalados no parque de estacionamento, ajudariam a sombrear os próprios carros.

Efetuada a comparação entre o consumo energético total do hotel (cerca de 1143 MWh/ano) e o total de energia produzida (cerca de 180 MWh/ano), verificou-se que o hotel não era um edifício de energia quase nula (NZEB).

Em última instância foi efetuado um estudo do consumo elétrico do hotel, dos equipamentos considerados no ficheiro TRNSYS, de ambas as bombas (escolhida para o projeto e existente no hotel) e casos considerados (taxa de renovação de 1,2 por hora e caso especial). Isto permitiu verificar que, tanto para o caso e bomba de calor escolhidos como para o caso especial e bomba existente, o consumo elétrico se aproximava do real e que o edifício tinha uma eficiência elétrica fraca.

7 Trabalhos futuros e recomendações

Devido à magnitude deste projeto, há muitas possibilidades para a exploração de diferentes temas consigo relacionados. A disponibilidade dos responsáveis do hotel e a prontidão na oferta de respostas a perguntas relacionadas com o mesmo permitem um estudo mais detalhado de diferentes aspectos passíveis de estudo.

Como trabalho futuro seria interessante realizar-se um estudo mais detalhado do consumo elétrico, efetuar-se uma avaliação de investimento relacionado com a implementação dos diferentes sistemas renováveis e determinar o retorno financeiro inerente a esta instalação. O facto da sua construção datar dos anos 50 implica uma pior qualidade dos materiais de construção, sendo que também que o conceito de aproveitamento energético passivo ainda não se encontrava muito desenvolvido. Desta forma ao ser efetuado um estudo energético para uma gama diferente de materiais de construção, seria possível usa-la como termo de comparação e assim avaliar-se o desenvolvimento que foi efetuado nesta área.

Caso fosse efetuada a implementação das sugestões aqui propostas, seria interessante avaliar a sua influência na poupança energética e financeira, verificar e comparar os dados teóricos e os práticos.

A implementação do sistema solar aco permite suprir parte das necessidades elétricas, visto que a sua eficiência não é constante bem como a sua produção elétrica. Ao ser efetuada a monitorização deste fator, seria possível estabelecer-se uma relação entre o clima da ilha e a produção de energia.

Visto que a maior parte das trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício se dão pelos envidraçados, seria interessante verificar a sua variabilidade com a substituição dos mesmos por diferentes tipos de vidro, simples, triplo, com maior ou menor caixa de ar. A implementação de sombreadores interiores e exteriores também é crucial para o bom funcionamento energético do hotel sendo que seria interessante, por ultimo, efetuar-se um estudo da influência deste fator nos ganhos solares e determinar a sua posição ideal de forma a minimizar os gastos adicionais de energia.

8 Referências Bibliográficas

[1] - Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu, *Desempenho energético dos edifícios*, Maio 2010.

[2] - Alper A. ,Oguz O. ,The role of renewable energy consumption in economic growth: Evidence from asymmetric causality, Fev. 2016.

[3] - IEA (International energy Outlook). Organization for economic co-operation and development, Paris, Washington DC,: International Energy Agency; 2009.

[4] - IEA (International energy Outlook). Organization for economic co-operation and development, Paris, Washington DC, International Energy Agency; 2011.

[5] - Renewable energy statistics, May 2015.

Disponível em: ec.europa.eu/Eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics

[6] - Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu, *relativa á eficiência energética*.

Disponível em:

https://www.portugal2020.pt/Portal2020/Media/Default/Docs/Legislacao/Nacional/DiretivaUE2012_27.pdf

[7] - setis.ec.europa.eu/technologies/heating-and-cooling-technologies

[8] - http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_from_renewable_sources

[9] – Definição de NZEB (Net Zero Energy Building)

<http://www.epbd-ca.eu/outcomes/2011-2015/CA3-CT-2015-5-Towards-2020-NZEB-web.pdf>

[10] - https://en.wikipedia.org/wiki/Rain_shadow

[11] - ARM Climate research facility, *Rainfall in Mountainous Areas*

Disponível em: <https://www.arm.gov/education/outreach/publications/11JanNewsletter.pdf>

[12] - en.wikipedia.org/wiki/Tenerife

[13] - Castiagno S., *Metodologia de Manutenção de Edifícios - Sistemas solares térmicos*, Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia e Universidade do Porto, 2012.

[14] - www.termoplac.net/images/colector-pisc.png

[15] - www.tisst.net/products/colector-plano

[16] - wgsol.com.br/2015/wp-content/uploads/2014/12/placa-do-aquecedor-solar.jpg

- [17] - www.kruschel.info/uploads/pics/bild_solar_kollekt_cpc_bewo.gif
- [18] - www.homepower.com/sites/default/files/articles/ajax/docs/10_HP133_pg70_Marken-5.jpg
- [19] - Energy Market Authority, *Handbook for solar photovoltaic (PV) systems*.
Disponível em: www.bca.gov.sg/publications/others/handbook_for_solar_pv_systems.pdf
- [20] - Y. Tripanagnostopoulos, M. Souliotis, R. Battisti, A. Corrado, Application aspects of hybrid PV/T solar systems
Disponível em: https://www.ecn.nl/fileadmin/ecn/units/egon/pvt/pdf/ises03_lca.pdf
- [21] - imagem sistema híbrido
Disponível em <http://solarwall.com/en/products/pvthermal/how-pvt-works.php>
- [22] - <http://www.tessolarwater.com/image/pvperformance-chart.jpg>
- [23] - Clito F. Afonso, *Refrigeração*, Porto 2013.
- [24] - Ibrahim Dincer, Mehmet Kanóglu, *Refrigeration Systems and Applications*, WILEY, 2nd Edition
- [25] - hvacbeginners.com/wp-content/uploads/2009/02/refrigerationcycle2-300x300.jpg
- [26] - Energy Publications, *Heating and Cooling with a Heat Pump*, Dez. 2004.
Disponível em:
www.nrcan.gc.ca/sites/oe.nrcan.gc.ca/files/pdf/publications/infosource/pub/home/heating-heat-pump/booklet.pdf
- [27] - *Energy efficiency and renewable energy, Air-source heat pumps.pdf*, 2001.
Disponível em: www.nrel.gov/docs/fy01osti/28037.pdf
- [28] - *ClimateMaster Applications of Water-to-Water Heat Pumps course manual..*
Disponível em: www.climatemaster.com/downloads/RP881.pdf
- [29] - www.tigaiga.com/en/your-hotel/facts-and-figures.
- [30] - upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f8/Topographic_map_of_Tenerife-en.svg.png
- [31] - <http://www.visitarcanarias.com/Images/hoteles/hotel-tigaiga.jpg>
- [32] - energy.gov/energysaver/passive-solar/home-design
- [33] - Declaração ambiental simplificada 2015 hotel Tigaiga
Disponível em: www.tigaiga.com/images/2015_Declaración_ambiental_H_Tigaiga.pdf
- [34] - Descrição do software TRNSYS
Disponível em: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>

[35] - Conforto térmico, módulo da disciplina de mestrado de métodos instrumentais em energia e ambiente.

Disponível em: in3.dem.ist.utl.pt/laboratories/pdf/emee_1.pdf

[36] - International Standard ISO7730 , Ergonomics of the thermal environment, third Edition 2005.

[37] - www.tenerifetourist.com/weather-climate.php

[38] - Catálogo do painel fotovoltaico escolhido para efeito de cálculos.

Disponível em: <http://www.teican.com/pdf/COLECTORES.pdf>

[39] - Bohdanowicz P., Churie-Kallhauge A., Martinac I., Energy efficiency and conservation in hotels - Towards sustainable tourism, Hawaii 2001

Disponível em:

www.greenthehotels.com/eng/BohdanowiczChurieKallhaugeMartinacHawaii2001.pdf

[40] – solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html

[41] – Catálogo da bomba de calor ar-ar escolhida para o projeto.

Disponível em: www.airstagevrf.com/PDF/AirstageCatalog.pdf

9 Anexos

Anexo A

Tabela A1 - Evolução de energia primária proveniente de fontes renováveis [8].

	Primary production (thousand toe)		Share of total, 2013 (%)				
	2003	2013	Solar energy	Biomass & waste	Geothermal energy	Hydropower	Wind energy
EU-28	104 094	191 961	5.5	64.2	3.1	16.6	10.5
Belgium	708	2 929	8.4	79.7	0.1	1.1	10.7
Bulgaria	952	1 826	7.5	65.0	1.8	19.2	6.5
Czech Republic	1 663	3 640	5.2	87.2	0.0	6.5	1.1
Denmark	2 252	3 240	2.1	68.1	0.2	0.0	29.5
Germany	12 614	33 680	9.6	70.8	0.4	5.9	13.2
Estonia	667	1 122	0.0	95.7	0.0	0.2	4.1
Ireland	235	766	1.5	41.0	0.0	6.5	51.0
Greece	1 538	2 487	20.1	43.1	0.5	21.9	14.3
Spain	9 196	17 377	15.4	39.6	0.1	18.2	26.7
France	15 521	23 073	2.1	64.5	1.0	26.3	6.0
Croatia	800	1 499	0.6	50.1	0.5	45.9	3.0
Italy	9 999	23 500	8.6	45.3	21.3	19.3	5.5
Cyprus	48	109	64.1	16.3	1.4	0.0	18.3
Latvia	1 728	2 137	0.0	87.8	0.0	11.7	0.5
Lithuania	794	1 288	0.3	92.1	0.1	3.5	4.0
Luxembourg	41	107	8.2	75.5	0.0	9.6	6.6
Hungary	906	2 074	0.4	90.3	5.4	0.9	3.0
Malta	0	10	72.6	27.4	0.0	0.0	0.0
Netherlands	1 625	4 294	1.6	86.3	0.6	0.2	11.3
Austria	6 130	9 466	2.4	56.2	0.4	38.1	2.9
Poland	4 150	8 512	0.2	91.1	0.2	2.5	6.1
Portugal	4 241	5 621	2.0	55.4	3.2	21.0	18.4
Romania	4 002	5 561	0.7	68.8	0.5	23.1	7.0
Slovenia	714	1 071	2.6	56.7	3.6	37.0	0.0
Slovakia	651	1 467	3.8	67.3	0.4	28.4	0.0
Finland	7 887	9 934	0.0	88.2	0.0	11.1	0.7
Sweden	12 389	16 770	0.1	63.4	0.0	31.5	5.0
United Kingdom	2 642	8 404	4.3	61.7	0.0	4.8	29.1
Norway	10 277	12 458	0.0	10.0	0.0	88.7	1.3
Montenegro	0	389	0.0	44.7	0.0	55.3	0.0
FYR of Macedonia	313	304	0.3	52.0	3.0	44.8	0.0
Albania	620	812	1.5	24.8	0.0	73.7	0.0
Serbia	1 750	1 989	0.0	55.7	0.2	44.1	0.0
Turkey	10 021	13 718	5.8	33.0	19.2	37.2	4.7

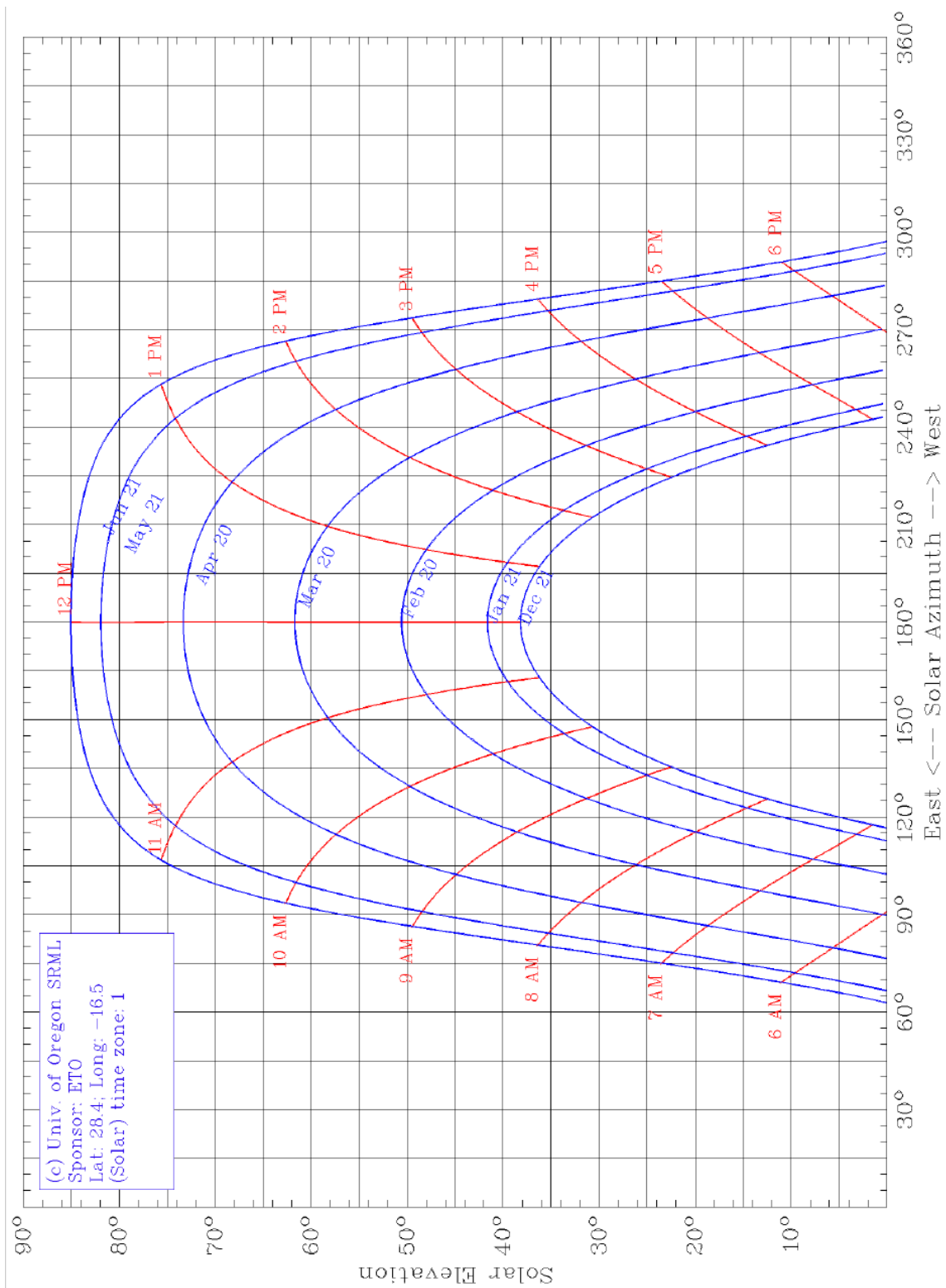


Figura A1- Carta solar de Tenerife [40].

Anexo B

Tabela B1 - Variação média mensal das temperaturas interiores sem sistema de climatização.

Temperaturas interiores sem sistema de arrefecimento/aquecimento [°C]														
Mês	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	29,4	26,2	24,4	25,6	25,1	25,6	25,2	25,4	25,1	24,3	24,3	22,1	23,2	24,0
Fev	29,7	27,4	25,6	26,8	26,4	26,7	26,4	26,4	26,2	25,8	25,6	22,3	23,7	24,6
Mar	30,7	28,9	27,1	28,3	27,9	28,2	28,0	27,9	27,7	27,2	27,0	23,7	25,2	26,2
Abr	31,4	30,0	29,0	29,6	29,5	29,6	29,6	29,3	29,4	28,6	28,5	25,0	26,6	27,6
Mai	32,0	30,5	30,1	30,2	30,3	30,2	30,4	29,9	30,1	29,1	29,1	26,2	27,5	28,4
Jun	33,2	32,0	31,9	31,8	32,0	31,8	32,2	31,6	31,8	30,7	30,8	28,0	29,2	30,1
Jul	35,8	34,4	34,4	34,1	34,4	34,1	34,5	33,9	34,2	33,0	33,1	30,3	31,7	32,6
Ago	36,1	34,8	34,3	34,6	34,7	34,6	34,8	34,3	34,5	33,4	33,6	30,4	31,8	32,7
Set	36,3	34,8	33,7	34,4	34,3	34,4	34,5	34,0	34,2	33,3	33,4	29,7	31,3	32,4
Out	35,5	33,8	32,0	33,2	32,9	33,2	33,0	32,8	32,7	32,1	32,2	28,5	30,0	31,1
Nov	33,4	31,3	29,1	30,6	30,1	30,6	30,2	30,1	29,9	29,7	29,6	25,4	27,1	28,2
Dez	32,4	29,8	27,0	29,0	28,3	28,9	28,3	28,4	28,1	28,0	27,8	23,5	25,4	26,6

Tabela B2 - Variação média mensal das temperaturas interiores com sistema de climatização

Temperaturas interiores com sistema de arrefecimento/aquecimento [°C]														
Mês	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	24,7	24,6	24,0	24,5	24,4	24,5	24,5	24,5	24,5	23,9	24,0	22,1	23,1	23,9
Fev	24,8	24,9	24,6	24,8	24,8	24,9	24,9	24,9	24,9	24,7	24,7	22,3	23,5	24,2
Mar	24,9	25,0	24,8	24,9	24,9	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,9	23,3	24,3	24,7
Abr	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,1	24,8	25,0
Mai	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,6	24,9	25,0
Jun	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	25,0	25,0
Jul	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Ago	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Set	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Out	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
Nov	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4	24,9	25,0
Dez	25,0	25,0	24,8	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,9	24,9	23,2	24,4	24,8

Tabela B3 - Necessidades de aquecimento para uma taxa de renovações de 0,6 por hora (pisos cave e 0).

	Q_aquec [kWh/mês]					
Mês	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3
Jan	0,40	0,11	6,93	0,14	0,00	0,00
Fev	0,00	0,00	1,44	0,00	0,00	0,00
Mar	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00
Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Set	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum	0,40	0,11	9,08	0,14	0,00	0,00

Tabela B4 - Necessidades de aquecimento para uma taxa de renovações de 0,6 por hora (pisos 1, 2, 3 e 4)

	Q_aquec [kWh/mês]							
Mês	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,42
Fev	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mar	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mai	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Jul	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ago	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Set	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Out	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nov	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dez	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,42

Tabela B5 - Necessidades energéticas de arrefecimento mensal para uma taxa de renovações de 1,2 por hora (piso cave e 0).

	Q_arref [kWh/mês]					
Mês	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3
Jan	0,00	0,01	0,00	1,22	0,45	0,00
Fev	0,02	0,12	0,02	1,12	0,60	0,14
Mar	0,28	0,66	0,21	1,43	1,35	0,81
Abr	0,45	0,96	0,34	1,46	1,41	1,69
Mai	1,11	1,90	1,07	1,85	2,12	3,51
Jun	2,08	3,03	2,09	2,10	2,90	5,13
Jul	3,96	5,14	4,29	3,07	4,64	8,36
Ago	3,85	5,03	4,16	3,09	4,62	7,78
Set	3,24	4,33	3,20	2,87	4,16	6,27
Out	2,72	3,79	2,40	2,90	3,95	4,82
Nov	0,86	1,57	0,43	2,09	2,17	1,47
Dez	0,24	0,61	0,05	1,76	1,42	0,29
Sum [kWh/ano]	18,81	27,14	18,25	24,96	29,78	40,28

Tabela B6 Necessidades energéticas de arrefecimento mensal para uma taxa de renovações de 1,2 por hora (piso 1, 2, 3 e 4).

	Q_arref [kWh/mês]							
Mês	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	0,15	0,03	0,08	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
Fev	0,31	0,15	0,23	0,12	0,17	0,09	0,00	0,04
Mar	0,88	0,61	0,82	0,59	0,76	0,51	0,12	0,32
Abr	1,08	0,92	1,06	0,94	1,05	0,87	0,24	0,50
Mai	1,88	1,69	1,91	1,76	1,95	1,71	1,00	1,22
Jun	2,74	2,46	2,80	2,53	2,88	2,52	1,97	2,06
Jul	4,55	4,01	4,62	4,08	4,74	4,07	4,03	3,79
Ago	4,51	3,91	4,59	3,96	4,67	3,97	3,84	3,62
Set	3,89	3,31	3,99	3,37	4,08	3,38	3,11	3,10
Out	3,45	2,81	3,53	2,83	3,59	2,84	2,35	2,55
Nov	1,58	1,17	1,59	1,15	1,59	1,13	0,39	0,78
Dez	0,82	0,48	0,75	0,42	0,67	0,36	0,04	0,22
Sum [kWh/ano]	25,84	21,55	25,99	21,78	26,17	21,43	17,09	18,19

Tabela B7 - Necessidades energéticas de arrefecimento mensal para uma taxa de renovações de 1,8 por hora (piso cave e 0).

Mês	Q_arref [kWh/mês]					
	Zona C.1	Zona C.2	Zona C.3	Zona 0.1	Zona 0.2	Zona 0.3
Jan	0,00	0,00	0,00	0,99	0,20	0,00
Fev	0,00	0,01	0,01	0,89	0,27	0,02
Mar	0,05	0,19	0,15	1,19	0,80	0,35
Abr	0,13	0,34	0,24	1,23	0,80	0,79
Mai	0,55	1,06	0,88	1,64	1,48	2,45
Jun	1,60	2,41	1,91	1,96	2,47	4,41
Jul	3,91	5,08	4,29	3,06	4,60	8,29
Ago	3,87	5,05	4,18	3,09	4,63	7,80
Set	3,06	4,12	3,12	2,83	4,01	6,02
Out	2,40	3,38	2,28	2,81	3,66	4,39
Nov	0,40	0,86	0,32	1,88	1,59	0,84
Dez	0,05	0,16	0,03	1,50	0,85	0,06
Sum [kWh/ano]	16,02	22,65	17,40	23,09	25,35	35,42

Tabela B8 - Necessidades energéticas de arrefecimento mensal para uma taxa de renovações de 1,8 por hora (pisos 1, 2, 3 e 4).

Mês	Q_arref [kWh/mês]							
	Zona 1.1	Zona 1.2	Zona 2.1	Zona 2.2	Zona 3.1	Zona 3.2	Zona 4.1	Zona 4.2
Jan	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fev	0,09	0,03	0,05	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00
Mar	0,45	0,26	0,35	0,22	0,29	0,16	0,03	0,13
Abr	0,55	0,43	0,48	0,41	0,43	0,34	0,12	0,22
Mai	1,26	1,13	1,22	1,15	1,23	1,07	0,69	0,83
Jun	2,31	2,08	2,33	2,13	2,39	2,09	1,65	1,75
Jul	4,52	3,98	4,58	4,05	4,69	4,03	4,00	3,76
Ago	4,52	3,92	4,60	3,97	4,69	3,98	3,85	3,63
Set	3,74	3,18	3,83	3,24	3,91	3,24	2,99	2,99
Out	3,15	2,56	3,22	2,57	3,27	2,57	2,15	2,35
Nov	1,07	0,74	1,01	0,68	0,96	0,63	0,22	0,47
Dez	0,39	0,17	0,29	0,12	0,22	0,08	0,01	0,08
Sum [kWh/ano]	22,07	18,48	21,96	18,55	22,11	18,20	15,71	16,21

Anexo C

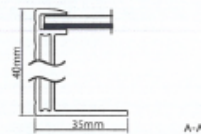
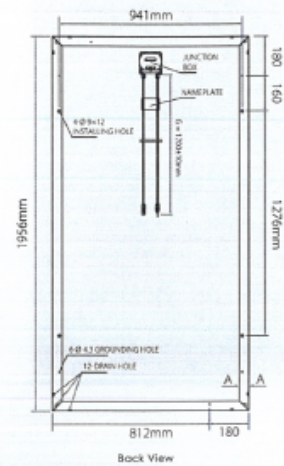
Physical data 61WG units

61WG		020	025	030	035	040	045	050	060	070	080	090
▼ Heating capacity*	kW	29.0	34.4	38.3	44.2	50.2	57.2	68.6	78.2	88.4	100	117
Power input	kW	5.3	6.5	7.4	8.4	9.4	10.8	12.5	14.6	16.2	19.0	21.9
Coefficient of performance (COP)	kW/kW	5.42	5.29	5.20	5.29	5.34	5.32	5.49	5.36	5.46	5.28	5.33
Eurovent class, heating	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
▼ Cooling capacity	kW	23.7	28.0	31.0	36.0	40.9	46.6	56.2	63.8	72.4	81.3	94.9
EER	kW/kW	4.43	4.30	4.21	4.30	4.35	4.33	4.50	4.37	4.47	4.29	4.34
▼ Heating capacity**	kW	21.7	25.7	29.4	34.1	37.7	42.1	50.4	56.7	67.1	74.6	87.0
Power input	kW	5.1	6.0	6.9	8.0	8.8	9.9	11.9	13.3	15.7	17.4	20.3
Coefficient of performance (COP)	kW/kW	4.24	4.26	4.28	4.27	4.27	4.25	4.25	4.27	4.26	4.28	4.29
Power input	kW	16.6	19.8	22.6	26.2	29.0	32.3	38.7	43.5	51.5	57.3	66.9
EER	kW/kW	3.25	3.27	3.29	3.28	3.28	3.26	3.26	3.28	3.27	3.29	3.30
▼ Nominal heating capacity***	kW	27.7	33.1	36.7	42.7	48.7	54.8	66.4	75.7	84.2	95.3	109.00
Power input	kW	6.4	7.6	8.8	10.0	11.3	12.6	14.7	17.5	19.3	22.3	25.3
Coefficient of performance (COP)	kW/kW	4.35	4.34	4.19	4.27	4.32	4.36	4.51	4.32	4.35	4.27	4.31
Eurovent class, heating	B	B	B	B	B	B	B	A	B	B	B	B
Power input	kW	21.4	25.5	28.0	32.8	37.5	42.3	51.8	58.3	65.0	73.2	83.9
EER	kW/kW	3.36	3.35	3.20	3.28	3.33	3.37	3.52	3.33	3.36	3.28	3.32
▼ Heating capacity****	kW	26.1	31.1	34.2	40.0	43.8	49.8	62.0	71.5	77.2	86.3	98.6
Power input	kW	8.3	10.0	11.4	13.0	14.5	16.0	19.7	22.6	24.8	28.2	31.8
Coefficient of performance (COP)	kW/kW	3.12	3.12	3.01	3.08	3.03	3.11	3.15	3.16	3.12	3.06	3.10
Power input	kW	17.8	21.3	23.0	27.2	29.5	33.9	42.5	49.1	52.7	58.4	67.1
EER	kW/kW	2.13	2.13	2.02	2.09	2.03	2.12	2.15	2.17	2.13	2.07	2.11
Sound level†	Sound power level 10 ¹⁰ W, standard unit	dB(A)	67.0	68.5	69.0	69.3	70.0	70.1	71.5	72.0	73.0	73.4
Operating weight	kg	191	200	200	207	212	220	386	392	403	413	441
Compressors	Hermetic scroll 48.3 m/s											
Quantity		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Number of capacity stages		1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Minimum capacity	%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	50%	50%	50%
Dimensions, standard unit††												
Width	mm	600	600	600	600	600	600	880	880	880	880	880
Depth	mm	1044	1044	1044	1044	1044	1044	1474	1474	1474	1474	1474
Height	mm	901	901	901	901	901	901	901	901	901	901	901
Refrigerant‡	R410A											
Charge, standard unit	kg	3.5	3.5	3.6	3.7	4.0	4.6	7.6	7.8	7.9	8.7	11.5
Charge, unit with option 272	kg	2.7	2.9	2.9	3.0	3.2	3.9	7.2	7.3	7.4	7.6	10.5
Oil	160SZ											
Charge per compressor	l	3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.6
Control	Pro-Dialog+											
Evaporator	Direct-expansion plate heat exchanger											
Water volume	l	3.3	3.6	3.6	4.2	4.6	5.0	8.4	9.2	9.6	10.4	12.5
Water connections	Victaulic											
Inlet/outlet	in	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2
Max. water-side operating pressure without hydronic module	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Condenser	Plate heat exchanger											
Net water volume	l	3.3	3.6	3.6	4.2	4.6	5.0	8.4	9.2	9.6	10.4	12.5
Water connections	Victaulic											
Inlet/outlet	in	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	2	2
Max. water-side operating pressure without hydronic module	kPa	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

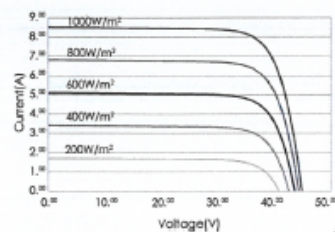
Figura C1- Catálogo da bomba de calor existente no hotel.

TSM-PD14 THE UTILITY MODULE

DIMENSIONS OF PV MODULE TSM-PD14



I-V CURVES OF PV MODULE TSM-290 PD14



$$M_{Voc} = -\frac{0,33}{100} \cdot \frac{V_{oc}}{^{\circ}C} = -0,0033 \frac{V}{^{\circ}C}$$

$$M_{Isc} = \frac{0,046}{100} \cdot \frac{I_{sc}}{^{\circ}C} = 0,00046 \frac{A}{^{\circ}C}$$

$$I_{sc} = 8,60 A$$

ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-290 PD14	TSM-295 PD14	TSM-300 PD14	TSM-305 PD14	TSM-310 PD14
Peak Power Watts-P _{max} (Wp)	290	295	300	305	310
Power Output Tolerance-P _{max} (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	36.1	36.6	36.9	37.0	37.0
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	8.04	8.07	8.13	8.25	8.38
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	44.9	45.2	45.3	45.4	45.5
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	8.53	8.55	8.60	8.75	8.85
Module Efficiency η _m (%)	14.9	15.2	15.5	15.7	16.0

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3. Average efficiency reduction of 4.5% at 200 W/m² according to EN 60904-1.

ELECTRICAL DATA @ NOCT	TSM-290 PD14	TSM-295 PD14	TSM-300 PD14	TSM-305 PD14	TSM-310 PD14
Maximum Power-P _{max} (Wp)	211	214	218	222	226
Maximum Power Voltage-V _{mp} (V)	32.6	33.0	33.3	33.7	33.8
Maximum Power Current-I _{mp} (A)	6.47	6.48	6.55	6.59	6.68
Open Circuit Voltage (V)-V _{oc} (V)	40.9	41.2	41.3	41.4	41.5
Short Circuit Current (A)-I _{sc} (A)	6.97	7.00	7.04	7.06	7.16

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Multicrystalline 156 × 156 mm (6 inches)
Cell orientation	72 cells (6 × 12)
Module dimensions	1956 × 992 × 40 mm (77 × 39.05 × 1.57 inches)
Weight	27.6 kg (60.8 lb)
Glass	High transparency solar glass 4.0 mm (0.16 inches)
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP 65 or IP 67 rated
Cables	Photovoltaic Technology cable 4.0 mm² (0.006 inches²), 1200 mm (47.2 inches)
Connector	MC4-EVO 3

$$A_{mod.} = 1,990 m^2$$

TEMPERATURE RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.44%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.33%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.046%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1000V DC(IEC)/1000V DC(UL)
Max Series Fuse Rating	15A

WARRANTY

10 year Product Workmanship Warranty
25 year Linear Power Warranty

(Please refer to product warranty for details)

Rev C

Figura C2 - Catálogo do painel fotovoltaico escolhido [38].

Specifications

Nominal Tonnage	Ton(s)	6	8	10	12
Model Name	Units	AQUA72RLBV / AQUA72RLCV	AQUA86RLBV / AQUA86RLCV	AQUA120RLCV	AQUA144RLBVG / AQUA144RLCVG
Unit Group Configuration		1X (AQUA72RLBV) / 1X (AQUA72RLCV)	1X (AQUA86RLBV) / 1X (AQUA86RLCV)	1X (AQUA120RLCV)	2X (AQUA72RLBV) / 2X (AQUA72RLCV)
Indoor Unit Total Capacity		50% to 130% / 40% to 150%			
Maximum Connectable Indoor Units		12 / 14	16	18	24 / 22
CAPACITY					
Nominal Cooling Capacity	BTU/h [kW]	72,000 [21.1]	96,000 [28.1]	120,000 [35.2]	144,000 [42.2]
Cooling Power Input (Nominal)	kW	5.38 / 5.37	7.64 / 7.67	9.86	10.8 / 11.8
Nominal Heating Capacity	BTU/h [kW]	81,000 [23.7]	108,000 [31.7]	135,000 [39.6]	162,000 [47.5]
Heating Power Input (Nominal)	kW	5.89 / 5.39	8.36 / 7.9	10.19	11.93 / 12.81
ELECTRIC					
Electrical Power Requirements		208 / 230 VAC, 3-Phase, 60Hz / 480 VAC, 3-Phase, 60Hz			
Maximum Circuit Breaker	A	50 / 25	50 / 25	30	2X(50/25)
Minimum Circuit Ampacity (MCA)	A	41 / 21	41 / 21	25	82 / 42
EFFICIENCY					
Cooling (Non-Ducted/Ducted)	EER	12.5 / 12.3	11.7 / 11.6 / 11.7 / 11.3	11.3 / 11.3	12.4 / 11 / 11.4 / 11.4
Cooling (Non-Ducted/Ducted)	EER	21.7 / 18.2 / 24.1 / 20	20.8 / 17.8 / 23.6 / 20.2	23.8 / 20.1	19.5 / 14.6 / 22.2 / 20.4
Heating 47° (Non-Ducted/Ducted)	COP	3.76 / 3.64 / 4.06 / 3.64	3.55 / 3.47 / 3.72 / 3.6	3.61 / 3.49	3.68 / 3.46 / 3.44 / 3.44
TEMPERATURE					
Operating Temp. Cooling (DB)	°F [°C]	5 to 115 [-15 to 46]			
Operating Temp. Heating (DB)	°F [°C]	-4 to 70 [-20 to 21]			
PIPE					
Pipe Connection: Liquid	in [mm]	1/2 [12.70]			
Pipe Connection: Discharge Gas	in [mm]	7/8 [22.22]			
REFRIGERANT					
Refrigerant Type		R410A			
Refrigerant Charge	lbs [kg]	24.7 [11.2] / 25.79 [11.70]		26.01 [11.80]	2X(24.7[11.2] / 2X(25.79[11.70])
FAN					
Fan Airflow Rate	CFM [m3/h]	6533 [11,100]		7652 [13,000]	2X (6533 [11,100])
External Static Pressure (Max)	in.WG [Pa]	0.32 [80]			
Sound Pressure Levels (Cooling/Heating)	dB (A)	60/61 / 57/58	60/61 / 59/59	61 / 62	63/64 / 60/61
COMPRESSOR					
Compressor Type x Quantity		Rotary Inverter			
Compressor Motor Output	kW	3.9 / 7.5		11	2X3.9 / 2X7.5
Compressor Crankcase Heater	W	25 / 2X35		2X35	2X25 / 2X(2X35)
DIMENSIONS / WEIGHT					
Dim.Net (HxWxD)		66-9/16 x 36-5/8 x 30-1/8 [1,690 x 930 x 765]		66-9/16 x 48-13/16 x 30-1/8 [1,690 x 1240 x 765]	2X (66-9/16 x 36-5/8 x 30-1/8 [1,690 x 930 x 765])
	in [mm]				
Net Weight	lbs [kg]	490 [222] / 584 [265]		635 [288]	2X(490[222]) / 2X(584[265])

Figura C3 - Catálogo da bomba de calor ar-ar escolhida para o projeto [41].