



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNIA

Controlo Automático para Sistema Energético de uma Habitação ou Edifício

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em / to fulfill the
Master's degree in Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de
Energia

Autor / Author

Diogo Filipe Borges Ribeiro

Orientador

Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares



INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, dezembro de 2024

RESUMO

Este trabalho representa o desenvolvimento e estudo de um sistema de gestão de energia para uma habitação real. Este nasceu da ideia da tentativa de otimizar a utilização de energia excedente dos painéis fotovoltaicos de um caso real, adaptando essa energia ao consumo interno, diminuindo o desperdício de energia e aumentando o conforto. Como a habitação em estudo, tem equipamentos importantes para o conforto dos vários espaços da habitação, o sistema proposto realiza análise de dados e controlo visando diretamente e continuamente a melhoria e a eficiência energética.

A metodologia adotada envolveu o levantamento de dados de consumo, equipamentos, sistemas de iluminação e de hábitos de utilização para as várias zonas térmicas presentes na habitação. A integração do sistema contabilizou dados dos sensores, dados meteorológicos, temperaturas das zonas térmicas, temperatura do tanque de águas quentes sanitárias, e ainda sensores de consumo dos vários equipamentos. Além destes sensores de consumo, foram também implementados sensores de análise de produção de energia, painéis solares térmicos e fotovoltaicos, e de armazenamento, baterias.

Os resultados obtidos demonstram que a ideia inicial para desenvolvimento deste projeto estava correta, pois verificou-se um aproveitamento muito acima do esperado da energia excedente de produção. Ainda foi possível testar o sistema de gestão de energia para outro tipo de configuração possível, mas possível ser adaptada na prática.

A contribuição deste trabalho reside para melhorar o desenvolvimento de sistemas de gestão de energia e para que estes permitam ser adaptados a diferentes tipos de habitações ou edifícios, aproveitando os seus pontos fortes e diminuindo as suas fraquezas. No futuro, também poderá servir como arranque para a utilização neste tipo de sistema das novas tecnologias emergentes com maior potencial, a inteligência artificial.

Palavras-chave: Sistemas de gestão de energia, EMS, Otimização de energia, Controlo e Análise, Sustentabilidade Energética, Energias Renováveis, Eficiência Energética.

ABSTRACT

This work represents the development and study of an energy management system (EMS) for a real home. It was conceived with the idea of optimizing the use of excess energy from the photovoltaic panels of a real case, adapting this energy to internal consumption, reducing energy waste, and increasing comfort. Since the home in question has important equipment for the comfort of various spaces, the proposed system performs data analysis and control with the goal of continuously improving and enhancing energy efficiency.

The methodology adopted involved collecting data on consumption, equipment, lighting systems, and usage habits for the various thermal zones in the home. The system integration accounted for data from sensors, meteorological data, temperatures of thermal zones, temperature of the domestic hot water tank, and also consumption sensors for various devices. In addition to these consumption sensors, sensors for energy production analysis, solar thermal and photovoltaic panels, and energy storage (batteries) were also implemented.

The results obtained show that the initial idea for the development of this project was correct, as there was a much higher than expected utilization of the excess energy produced. It was also possible to test the EMS system for other potential configurations, which can still be practically adapted.

The contribution of this work lies in improving the development of EMS systems and enabling them to be adapted to different types of homes or buildings, leveraging their strengths and reducing their weaknesses. In the future, it could also serve as a starting point for incorporating emerging technologies with greater potential, such as artificial intelligence, into this type of system.

Keywords: Energy Management Systems, EMS, Energy Optimization, Control and Analysis, Energy Sustainability, Renewable Energy, Energy Efficiency.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família por todo o amor, apoio incondicional e motivação ao longo do período de desenvolvimento deste projeto. Aos meus pais, que sempre acreditaram nas minhas capacidades e me ensinaram os valores por qual me oriento e necessitei para a conclusão desta etapa, esforço, empenho e perseverança. Há minha companheira também um voto de dedicação, não só pela força, mas também pela compreensão e incentivo ao longo destes intensos meses de desenvolvimento do projeto.

Ao meu orientador também uma palavra de apreço, pela valiosa orientação ao longo de todo este percurso, sem a qual este trabalho não teria sido possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão a todas as pessoas que de alguma forma, tornaram possível a realização deste projeto.

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador, Prof. Doutor Paulo Tavares, pela orientação, ajuda e comprometimento durante todo o desenvolvimento deste projeto, desde a sua fase inicial à fase de construção e simulação do modelo. Os seus conselhos e críticas construtivas foram bastante pertinentes para que pudesse alcançar com sucesso este projeto.

Agradeço à Instituição, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, por proporcionar aprendizagens e disponibilizar materiais, conteúdos que, em muito, contribuíram para a realização deste projeto académico.

Por fim, e não menos importante, agradeço à minha família e companheira pelo amor, compreensão e apoio incondicional, que foram essenciais para a conclusão desta fase.

Ainda, um sincero obrigado a todas as pessoas que me ajudaram na concretização deste projeto.

ÍNDICE

Resumo.....	i
Abstract	iii
Dedicatória.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xiii
Índice de tabelas.....	xv
Lista de Siglas, acrónimos e símbolos	xvii
Lista de siglas e acrónimos	xvii
Lista de símbolos	xix
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Organização do documento	4
2 Caracterização do estado atual dos conhecimentos	7
2.1 Edifícios e Sistemas Auxiliares	7
2.2 “Net Zero by 2050”	7
2.3 Energia em Edifícios.....	12
2.3.1 “ <i>Nearly zero-Energy buildings</i> ”	15
2.3.2 Estratégias de gestão de energia em Edifícios	16
2.3.3 Certificado energético de um edifício.....	18
2.4 Sistemas de produção de energia em Edifícios	19
2.4.1 Painéis solares térmicos	19
2.4.2 Painéis fotovoltaicos	20
2.5 Sistemas climatização em Edifícios.....	22
2.5.1 Bombas de calor.....	22
2.6 Sistemas de armazenamento de energia em Edifícios	24
2.7 Protocolo MODBUS	25
2.8 Sistemas de Gestão de Energia em Edifícios.....	29
2.8.1 Importância de sistemas e estratégias de gestão de energia em Edifícios	29
2.8.2 Monitorização em Sistemas EMS-in-Bs.....	31

2.8.3 Estimativas e Previsões em Sistemas EMS-in-Bs	32
2.8.4 Gestão e Controlo em Sistemas EMS-in-Bs	33
2.8.5 Análise em Sistemas EMS-in-Bs	35
2.8.6 Otimização em Sistemas EMS-in-Bs	36
2.8.7 Análise dos Sistemas EMS-in-Bs	36
2.9 Importância das bombas de calor no desempenho energético de edifícios multifamiliares	41
2.10 Sistemas de painéis solares térmicos e painéis solares fotovoltaicos para gerar eletricidade em edifícios.....	44
2.10.1 Descrição do Edifício	46
2.10.2 Simulação Energética do Edifício	47
3 Localização e descrição do edifício em estudo	53
3.1 Características do Edifício	53
3.1.1 Localização	53
3.1.2 Constituição do Edifício e Habitação T3	54
3.1.3 Consumos de Energia.....	58
3.2 Proposta de sistema de gestão de energia para o estudo de caso	59
3.2.1 Comunicação do sistema de gestão de energia	62
3.2.2 Dimensionamento das ligações do sistema de gestão de energia	63
3.3 Estudo da habitação T3 para simulação	64
3.3.1 Recolha de dados para construção do modelo	65
3.3.2 Meteorologia	65
3.3.3 Propriedades dos materiais	66
3.3.4 Padrões de ocupação	67
3.3.5 Padrões de ocupação dias da semana	67
3.3.6 Padrões de ocupação fins de semana.....	72
3.3.7 Padrões de consumo.....	78
3.3.8 Dimensionamento painéis fotovoltaicos e bateria	86
3.3.9 Dimensionamento das bombas de calor.....	86
3.4 Construção da habitação T3 em SketchUp	87
3.5 Construção do Modelo em Openstudio/Energyplus	90
3.5.1 Desenvolvimento do sistema EMS	92
3.5.2 Criação de sensores para o sistema EMS	93
3.5.3 Criação de atuadores para o sistema EMS	94
3.5.4 Desenvolvimento da lógica EMS.....	95
3.5.5 Programa EMS	97

3.5.6 Novo Fluxograma do programa EMS	101
4 Simulação do Modelo em Openstudio/Energyplus.....	103
4.1 Resultados do primeiro modelo EMS	103
4.2 Resultados do segundo modelo EMS	106
4.3 Análise dos modelos EMS	113
4.4 Representação do dispositivo EMS	115
5 Conclusões.....	117
Referências Bibliográficas	121
Anexos	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo total de energia por fonte nos últimos séculos.	1
Figura 2 - Os possíveis cenários e consequências do aumento da temperatura terrestre, previsões de aquecimento de acordo com Raftery et.al, 2017.....	8
Figura 3 - Estado Energético global antes das políticas e reformas de uma nova cimeira.	10
Figura 4 - Estado Energético global previsto se implementadas novas reformas e políticas ambientais.	11
Figura 5 - Energia consumida em edifícios por fonte.	13
Figura 6 - Emissões poluentes emitidas direta e indiretamente por edifícios.	14
Figura 7 – Representação esquemática de um edifício NZE.	16
Figura 8 – Exemplo esquemático de uma estratégia de gestão de energia para um edifício.	17
Figura 9 – Circuito completo de um sistema painel solar.	20
Figura 10 – Exemplo de colocação de painéis fotovoltaicos em edifícios.	21
Figura 11 – Componentes constituintes de uma bomba de calor.	23
Figura 12 – Diagrama de carga de um edifício ou habitação com a utilização de baterias.	24
Figura 13 – Exemplo esquemático da comunicação MODBUS.	26
Figura 14 – Exemplo da comunicação em MODBUS em representação binária.	26
Figura 15 – Diagrama de comunicação, Master/Slave em MODBUS.	27
Figura 16 - Sistemas BEMS com função principal de monitorização e suas subfunções.	38
Figura 17 - Percentagem de utilização das funções implementadas em sistemas EMS-in-Bs no artigo [20].	39
Figura 18 - Poupança energética média, mínima e máxima por cada função implementada nos artigos estudados em [20].	41
Figura 19 - Fornecimento de energia para aquecimento em edifícios ao longo dos anos.	43
Figura 20 - Consumo de energia para aquecimento antes e após renovações dos edifícios.	44
Figura 21 - Ilustração esquemática de um Sistema GSHP.	46
Figura 22 - Perdas e ganhos de energia no edifício.	47
Figura 23 - Consumo caldeira convencional vs bomba de calor.	48
Figura 24 - Produção fotovoltaica por ano.	48
Figura 25 - Fração solar, em percentagem, mensal para aquecimento sanitário.	50
Figura 26 - Consumo vs emissões CO2 em cada um dos sistemas estudados.	51
Figura 27 - Localização do edifício.	53
Figura 28 - Fachada principal do edifício.	54
Figura 29 - Localização da habitação em estudo alçado principal.	55
Figura 30 - Localização da habitação em estudo no alçado posterior.	55
Figura 31 - Planta 2D da tipologia T3.	56
Figura 32 - Fluxograma sistema de gestão de energia inicial.	61
Figura 33 - Localização equipamentos de gestão de energia.	63
Figura 34 - Esquema 3D do quadro de gestão de energia.	64
Figura 35 - Exercício de zonamento para a habitação T3.	64
Figura 36 - Diagrama de ocupação Quarto solteiro.	68
Figura 37 - Diagrama de ocupação quarto de casal.	69
Figura 38 - Diagrama de ocupação cozinha + Sala (open space).	70
Figura 39 - Diagrama de ocupação casa de banho de serviço.	72
Figura 40 - Diagrama de ocupação casa de banho de casal.	72
Figura 41 - Gráfico de barras ocupação quarto solteiro fim-de-semana.	73

Figura 42 - Diagrama de ocupação quarto de casal fim-de-semana.....	74
Figura 43 - Diagrama ocupação Cozinha + Sala open space ao fim-de-semana.....	76
Figura 44 - Diagrama de ocupação casa de banho de serviço - fim-de-semana.....	77
Figura 45 - Diagrama de ocupação casa de banho de casal - fim-de-semana.....	78
Figura 46 - Percentagem de utilização computador quarto 2 e 3 em dias da semana.....	79
Figura 47 - Percentagem de utilização Computador Quarto 2 e 3 aos fins-de-semana.....	80
Figura 48 - Percentagem de utilização placa de indução dias da semana.....	81
Figura 49 - Percentagem de utilização placa de indução fins-de-semana.....	81
Figura 50 - Percentagem de utilização frigorífico dias da semana.....	82
Figura 51 - Percentagem de utilização frigorífico fins-de-semana.....	82
Figura 52 - Percentagem utilização televisão dias da semana.....	83
Figura 53 - Percentagem utilização televisão fins-de-semana.....	83
Figura 54 - Comparação utilização de luzes interiores na zona térmica Sala + Cozinha.....	85
Figura 55 - Comparação da ocupação da zona térmica Cozinha + Sala.....	85
Figura 56 - Divisão da habitação em espaços.....	88
Figura 57 - Definição das zonas térmicas da habitação.....	88
Figura 58 - Alçado frontal da habitação em 3D modelada em SketchUP.....	89
Figura 59 - Alçado traseiro da habitação em 3D em SketchUP.....	89
Figura 60 - Bomba de calor para climatização criada em Openstudio.....	91
Figura 61 - Criação da bomba de calor para aquecimento de águas sanitárias.....	92
Figura 62 - Exemplo da criação de um sensor EMS em Ruby.....	94
Figura 63 - Criação de um atuador EMS em Ruby.....	95
Figura 64 - Considerações iniciais programa EMS.....	97
Figura 65 - Corpo de programação do sistema EMS para bomba de calor de climatização.....	97
Figura 66 - Corpo de programação do sistema EMS para bomba de calor AQS.....	98
Figura 67 - Considerações iniciais para o armazenamento de energia em EMS.....	99
Figura 68 - Controlo de carga da bateria em EMS.....	100
Figura 69 - Controlo de descarga da bateria em EMS.....	100
Figura 70 - Atuadores de carga e descarga da bateria do programa EMS.....	101
Figura 71 - Fluxograma final de funcionamento do sistema EMS.....	102
Figura 72 - Energia consumida mensal durante o ano de simulação.....	105
Figura 73 - Modelo 3D em SketchUp com a implementação de um painel solar térmico.....	107
Figura 74 - Calendário de set-point da bomba de calor AQS.....	109
Figura 75 - Consumo de energia mensal ao longo do ano de simulação para o modelo 2.....	112
Figura 76 - Representação das ligações de um possível sistema EMS para o caso de estudo.....	115
Figura 77 - Representação em corte das ligações do possível sistema EMS.....	115

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Representação da numeração Bit's em sistema hexadecimal.....	27
Tabela 2 - Tabela de função comunicação MODBUS.....	28
Tabela 3 - Funções vs Aplicações Sistemas EMS-in-Bs.....	37
Tabela 4 - Áreas das divisões do edifício.....	46
Tabela 5 - Propriedades físico-térmicas dos materiais que constituem o edifício.....	47
Tabela 6 - Consumo de energia elétrica para o ano de 2023.....	58
Tabela 7 - Características dos elementos de construção.....	66
Tabela 8 - Valores de ocupação para os vários espaços da habitação.....	67
Tabela 9 - Organização dados dos equipamentos.....	79
Tabela 10 - Tabela de organização de dados de iluminação da habitação.....	84
Tabela 11 - Consumo energético global da habitação com o modelo 1.....	104
Tabela 12 - Dados de temperatura média ao longo do ano por cada zona térmica.....	105
Tabela 13 - Dados gerais de simulação do modelo 2.....	107
Tabela 14 - Representação dos vários consumos existentes para a habitação ao longo de um ano.	108
Tabela 15 - Dados de simulação sobre produção de energia com base em energia térmica.....	110
Tabela 16 - Tabela dos consumos finais na habitação para o modelo 2.....	110
Tabela 17 - Tabela de temperatura média das zonas térmicas para a simulação do modelo 2.....	112

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E SÍMBOLOS

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS

<i>AIE</i>	<i>Agência Internacional de Energia</i>
<i>AVAC</i>	<i>Aquecimento, Ventilação e ar Condicionado</i>
<i>AQS</i>	<i>Águas Quentes Sanitárias</i>
<i>BAS</i>	<i>Building Automation Systems</i>
<i>BEMS</i>	<i>Building Energy Management System</i>
<i>BMS</i>	<i>Building Management System</i>
<i>CENED</i>	<i>Certificazione ENergetica degli EDifici</i>
<i>CLP</i>	<i>Controladores Lógicos Programáveis</i>
<i>CO₂</i>	<i>Dióxido de Carbono</i>
<i>COP26</i>	<i>Conference of the Parties, Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2021</i>
<i>COP</i>	<i>Coefficient of Performance</i>
<i>DH</i>	<i>District Heat</i>
<i>EMS-in-Bs</i>	<i>Net Zero Emissions</i>
<i>GSHP</i>	<i>Ground Source Heat Pump</i>
<i>HVAC</i>	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
<i>IBM</i>	<i>International Business Machines</i>
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things</i>
<i>LARC</i>	<i>International Agency for Research of Cancer</i>
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode</i>
<i>NZE</i>	<i>Net Zero Energy</i>
<i>NZEB</i>	<i>Net Zero Energy Buildings</i>
<i>ODS</i>	<i>Objetivos Desenvolvimento Sustentável</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Alfabeto latino

V	Unidade de tensão: Volt
$^{\circ}C$	Unidade de temperatura SI: Graus Celsius
SI	Sistema Internacional
m^2	Unidade de área na notação SI (metro quadrado)
MWh/ano	Consumo em MegaWatt hora por ano
kWh/m^2	Consumo de energia em quiloWatt hora por unidade de área
W	Unidade de Potência (Watt)
tCO_2	Toneladas de Dióxido de Carbono
kVA	Potência Aparente (quilo-Volt-Ampere)
z	Zona térmica
$C_p(J/kg^{\circ}C)$	Calor específico em Joule por (quilograma.grau Celsius)
J	Joule - Unidade de medição energia
GJ	Giga Joule - Unidade de medição energia

Alfabeto grego

$\lambda(W/m^{\circ}C)$	Condutibilidade térmica
$\rho(kg/m^3)$	Massa volúmica aparente seca

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

As alterações climáticas são a maior consequência direta do consumo de energia muito elevado praticado pelo Homem durante os últimos dois séculos. Atualmente sentimos os impactos desse consumo excessivo, pela ocorrência cada vez mais recorrente de fenómenos naturais extremos, da subida do nível do mar e também pela subida da temperatura média do planeta Terra. No futuro, a vida humana poderá ser impactada de forma ainda mais severa e extrema, caso se despreze este problema ou não se encontrem medidas adequadas para alterar este paradigma, e segundo as Nações Unidas, no futuro as alterações climáticas “poderão afetar a saúde, capacidade de produzir alimentos, habitação e a segurança”¹.

O setor da energia é um dos mais poluentes do nosso planeta. Através da Figura 1, podemos observar o consumo total de energia por fonte nos últimos três séculos.

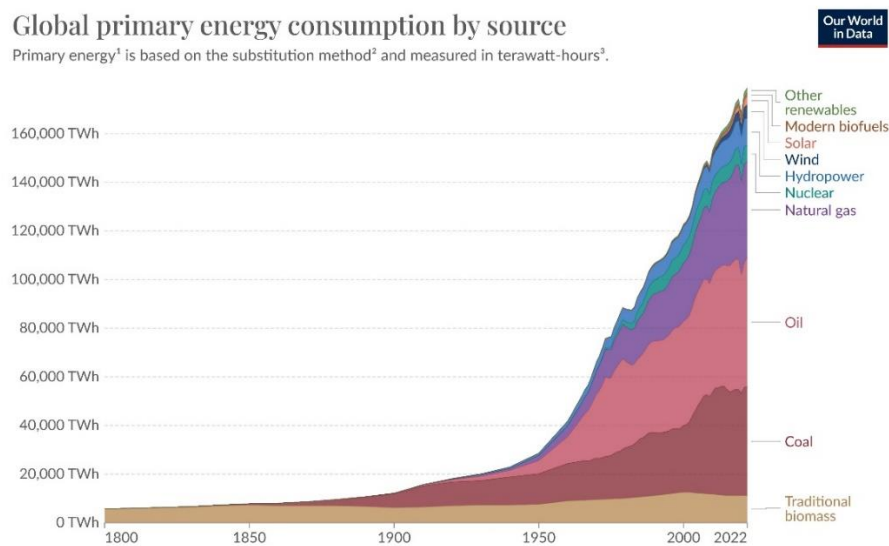


Figura 1 - Consumo total de energia por fonte nos últimos séculos.²

¹ Fonte: [What Is Climate Change? | United Nations](#)

² Fonte: [Energy Production and Consumption - Our World in Data](#)

É notória a evolução exponencial do consumo de energia a partir de final do século XIX e início do século XX. Muito se deveu à evolução tecnológica, às revoluções industriais e ao crescente “conceito” de consumismo por parte da sociedade. Atualmente é difícil de imaginar um mundo sem a utilização de energia, pois esta é necessária à subsistência do ser humano, para se deslocar, cozinhar, aquecimento, saúde, iluminação, desporto e transações comerciais. O ser humano começou por utilizar recursos “disponibilizados” pelo nosso planeta, como o petróleo, carvão e o gás natural para a produção de energia. Com o passar dos anos, a necessidade energética aumentou e para corresponder a esse aumento, foi necessário aumentar a produção de energia, que por consequência resultou numa maior utilização de combustíveis fósseis. Após anos de consumo de combustíveis fósseis de forma abusiva, foi possível observar um decréscimo da qualidade de vida das populações, causado pela contaminação do ar, resultando assim no aparecimento cada vez mais frequente de doenças respiratórias e oncológicas, e segundo a *International Agency for Research on Cancer*, as emissões poluentes “causam cerca de 1,3Milhões de novos casos de cancro do pulmão por ano” [1]. De forma a perceber os motivos que causavam estes efeitos, procederam-se a estudos e verificou-se que os combustíveis fósseis eram os principais “culpados” pela deterioração do ecossistema, devido à libertação de gases poluentes para a atmosfera terrestre [2]. Como a produção de energia é maioritariamente produzida por matérias-primas não renováveis, gás natural, petróleo e carvão, há emissão de poluição carbónica, em especial dióxido de carbono (CO_2), que é nociva à atmosfera terrestre, seres vivos e ecossistemas. Estas emissões de poluentes aumentaram de forma proporcional ao consumo energético.

Nos últimos anos, as preocupações com as alterações climáticas têm subido de tom, obrigando as nações a reagir, tomando medidas em parceria com as suas populações. A maior parte das medidas aplicadas para combater as alterações climáticas no setor da energia conduzem para a poupança energética. Uma das medidas que se tem tornado fundamental no setor da energia, e adotada por vários países, é a substituição de fontes de energia não renováveis pelas fontes renováveis. Um exemplo dessa abordagem é a substituição de centrais a carvão ou gás natural por parques eólicos ou fotovoltaicos. O caso concreto de Portugal, um exemplo positivo no que toca ao combate às alterações climáticas, que tem vindo, nos últimos anos, a desativar as centrais a carvão. Em dezembro de 2021 foi encerrada a última central a carvão no Pego. Segundo [3] essa mesma data “vai ficar para a história de Portugal, pois, foi o primeiro mês desde 1985 que o país não queimou qualquer carvão para produzir eletricidade”. Um passo positivo no caminho da descarbonização, que

segundo a mesma fonte, permitiu reduzir as emissões em “1,4 milhões de toneladas” [3] de CO₂ anuais.

No panorama atual, o termo economizar tornou-se cada vez mais presente e relevante para a sociedade. E porque é que este se tornou tão importante? Combater a dependência energética sobre os combustíveis fósseis e contribuir para a melhoria da pegada ecológica. Esta é a medida tomada, principalmente pelas populações de alguns países, de forma a contribuir para o combate às alterações climáticas. Apesar de serem medidas praticadas pelas populações, os governantes dos países têm uma grande responsabilidade na aplicação das mesmas, pois, são eles que têm a capacidade de consciencializar, alertar e criar incentivos à poupança energética.

Economizar energia em edifícios é um processo complexo e recorrente nos dias que correm. O combate às alterações climáticas também mudou o paradigma na maneira como se projetam e constroem novos edifícios. A legislação para a construção de novos edifícios é cada vez mais exigente e rigorosa, ao nível da qualidade dos materiais e das metas de classe energética a atingir no final da construção. Desde o projeto que são pensados e projetados para atingir classes energéticas as mais elevadas possíveis. A tarefa de economizar energia também está muito associada ao tipo de equipamentos que se instalam nos edifícios. A classe energética de um equipamento é um fator crucial para a escolha e compra do mesmo. Esta tem o objetivo de fornecer informações sobre o consumo e desempenho energético. Quanto menor o consumo energético para obtenção de um determinado objetivo, maior será a eficiência desse equipamento. Um exemplo cada vez mais comum no equipamento de edifícios são as bombas de calor. Estas são uma alternativa mais energética e eficiente em comparação com os aparelhos convencionais de climatização, nomeadamente ar condicionados, lareiras e caldeiras. Além da função de climatização, também é possível, em alguns modelos, realizar o aquecimento de águas sanitárias, excluindo a necessidade do uso de um esquentador convencional, o que resulta de um “não” consumo de gás natural. Existem outros equipamentos de extrema importância muito utilizados atualmente visando a poupança energética como sejam, por exemplo, painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica e painéis solares para aquecimento de água.

1.2 OBJETIVOS

O presente projeto tem como principal objetivo desenvolver um sistema que permita realizar a gestão energética de uma habitação unifamiliar. Este sistema irá funcionar em simultâneo recolhendo dados de vários equipamentos. Consoante o nível de resposta dos mesmos, o sistema implementa as melhores decisões visando a diminuição do consumo de energia.

Dentro do objetivo principal, existem outros que complementam a totalidade do projeto a desenvolver, que são os seguintes:

- Estudo de um edifício de classe energética A+;
- Aprofundar conhecimentos na área de equipamentos de gestão de energia, nomeadamente em equipamentos de energias renováveis;
- Desenvolvimento de uma rede MODBUS com o objetivo de interligar e comunicar com os vários equipamentos;
- Através de linguagem de programação, criar um programa autónomo que permita fazer a gestão da energia de forma que seja possível aumentar a sustentabilidade do caso estudado;
- Análise de dados do sistema implementado recorrendo a um software. Retirar conclusões, como por exemplo, se o equipamento a desenvolver é vantajoso, se compensa o investimento e que possibilidades de melhoria é possível do mesmo para o futuro;

1.3 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

- Capítulo 1 – Ponto inicial onde será abordado o enquadramento do tema, a organização do documento e não menos importante quais os objetivos em foco para o desenvolvimento deste projeto.
- Capítulo 2 – Este capítulo tem como objetivo listar e abordar os temas desenvolvidos ao longo deste projeto. Nela serão analisados projetos sobre o tema desenvolvido ao longo dos últimos anos. Além disso também serão abordados dados e conclusões dos vários autores, isto permitirá uma definição mais rigorosa do caminho a seguir para o projeto.

- Capítulo 3 - Este capítulo tem como objetivo uma breve descrição geral sobre a habitação em estudo, localização, constituição do edifício e ainda identificação da potência contratada. Neste capítulo será abordada também a ideia inicial para o desenvolvimento do projeto. É a ideia por detrás da conceção do projeto. Parte do relatório onde serão recolhidos todos os dados necessários para a simulação do sistema de energia, hábitos de consumo, diagrama de cargas, padrões de utilização, características para dimensionamento dos equipamentos e ainda dados meteorológicos. Por fim ainda neste capítulo procedeu-se à construção em 3D do modelo da habitação para simulação usando o programa SketchUP.
- Capítulo 4 - A Simulação do modelo é realizada neste capítulo; nele são feitas as análises dos dados bem como também identificadas novas soluções para o sistema de gestão de energia do modelo.
- Capítulo 5 – Capítulo de reflexão de todo o trabalho desenvolvido, análise das dificuldades, objetivos e futuras melhorias para o desenvolvimento de novos projetos e do que este trabalho contribui para o futuro dos sistemas de gestão de energia.
- Referências Bibliográficas
- Anexo – Programação do EMS

2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO ATUAL DOS CONHECIMENTOS

2.1 EDIFÍCIOS E SISTEMAS AUXILIARES

A necessidade de poupar energia elétrica em edifícios advém das consequências causadas pelas alterações climáticas. Para isso ao longo dos anos foram e ainda se implementam técnicas que impulsionem a necessidade de reduzir o consumo de energia, promovendo assim sustentabilidade. As áreas de maior foco para a poupança energética em edifícios são as seguintes:

- Novos métodos de isolamento de edifícios;
- Implementação de sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado; do Inglês HVAC – *Heating, Ventilations and Air Conditioning*);
- Mudança da iluminação convencional para iluminação LED (*Light Emitting Diode*);
- Apostas em novas tecnologias de energias renováveis;
- Promover a monitorização e a gestão de energia em edifícios;
- Promoção de edifícios com padrões de construção sustentável;

O objetivo destas medidas não se resume só em melhorar a qualidade do planeta no qual chamamos “casa”, mas também, dar passos concretos e certos no caminho da sustentabilidade, evolução tecnologia e no aumento da qualidade de vida.

2.2 “NET ZERO BY 2050”

As alterações climáticas são uma das questões mais urgente da presente e futuras gerações. O termo “Net zero by 2050” é a meta e o compromisso a definir para a responsabilidade ambiental do planeta, dos governos, autoridades municipais, empresas e populações. O objetivo deste compromisso é reduzir as emissões de gases de efeito de estufa e também substituir gradualmente os combustíveis fósseis por outras fontes de energia amigas do ambiente, as renováveis.

Em 2015, foi assinado pela primeira vez um acordo internacional [4], Acordo de Paris. O primeiro compromisso onde 196 países se vincularam ao combate às alterações

climáticas, incluindo Portugal. Este acordo entrou em vigor a partir de 4 de novembro de 2016. O seu principal objetivo é “travar” o aumento da temperatura média global da Terra, em 2°C, ou seja, o valor da temperatura média não ultrapassar o aumento de 2°C. Para isso é necessário diminuir as emissões de gases poluentes em “45% até 2030” e “100% em 2050”. Ultrapassar esta barreira de temperatura acarreta riscos de desencadear impactos de alterações climáticas mais graves e severas, como secas, ondas de calor, chuvas mais frequentes e a ocorrência de maior frequência de fenómenos naturais extremos [4].

Na Figura 2, é possível observar os vários cenários para diferentes aumentos de temperatura para os próximos anos. Atualmente estamos na zona de aumento de 1°C em relação à temperatura média terrestre. A ocorrência de fenómenos extremos é cada vez mais uma constante, afetando assim a vida de todo o ecossistema. Com o aumento limite estipulado de 1,5°C, “cenário com maior possibilidade de ocorrer em 2026” [5], além dos eventos climáticos extremos, a qualidade das colheitas e alimentos diminuirá o que poderá levar a uma escassez dos mesmos.

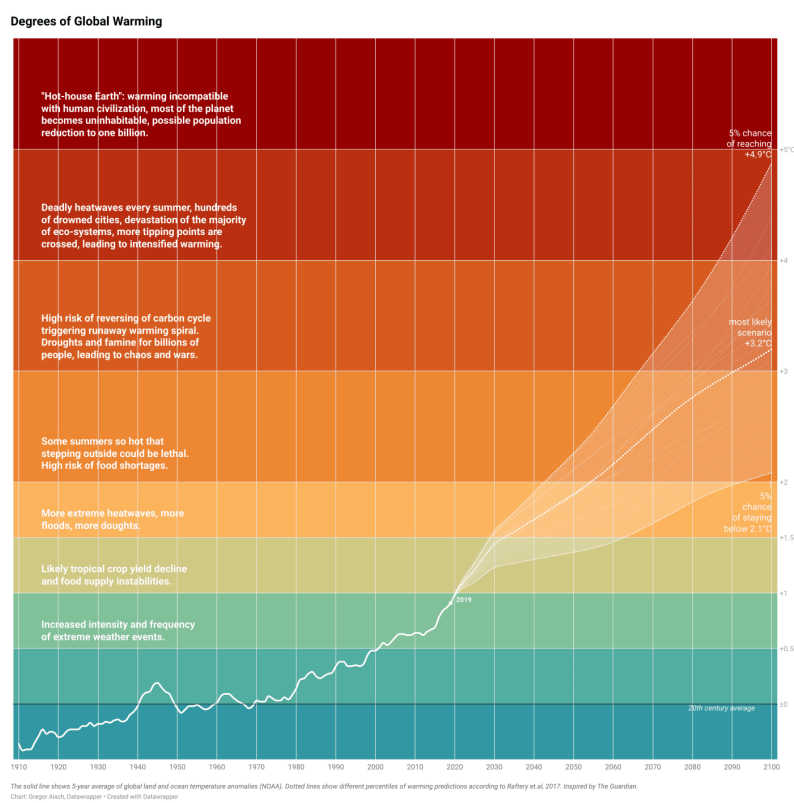


Figura 2 - Os possíveis cenários e consequências do aumento da temperatura terrestre, previsões de aquecimento de acordo com Raftery et.al, 2017.³

³ Fonte: [What is the 1.5 degree target? | ForTomorrow](#)

Além deste cenário existem outras duas possibilidades ainda mais negativas para o futuro ambiental do planeta. Caso se mantenha o nível de emissões de CO₂ atual, a probabilidade de enfrentarmos um aumento de 3°C face à temperatura média global é real, “desencadeando uma espiral climática descontrolável, podendo levar mesmo à fome de bilhões de pessoas” [5]. Se descorarmos ainda mais este problema e continuarmos a aumentar as emissões de CO₂ relativamente às atuais, poderemos atingir no futuro um aumento de 4°C na temperatura média terrestre, originando assim colapso nos ecossistemas, limitando a vida terrestre.

Entre 31 de outubro e 13 de novembro de 2021 realizou-se uma nova cimeira sobre as alterações climáticas, COP26, o segundo marco crucial no combate às alterações climáticas. Mostrou que os países estão empenhados em resolver a questão ambiental em que vivemos. Nela foram discutidos os métodos, as políticas e os financiamentos para os países combaterem as alterações climáticas, em especial os em desenvolvimento. Caminhar para o objetivo “Net-Zero by 2050” é uma questão complexa e que exige responsabilidade de todos os meios envolvidos, organizações, países e suas populações, e para isso, a cimeira serviu como reforço a políticas já existentes na implementação de tecnologias mais limpas e eficientes em todos os setores de atividade, limitar e fornecer desincentivos à utilização de combustíveis fósseis e tecnologias como, por exemplo, centrais a carvão, incentivar as empresas na compra/substituição para tecnologias mais eficientes, garantir reformas nos mercados de forma a garantir preços mais acessíveis e adequados, permitir que as energias eólica e solar acelerem a transição energética do setor elétrico e, ainda, que a utilização dos veículos elétricos se torne predominante em relação aos veículos de combustão interna [6].

A Figura 3 mostra o estado global energético e ambiental antes do reforço das políticas e reformas de uma nova cimeira climática, *Conference of the Parties* (COP 26). As energias renováveis até 2020 apenas tinham 10% de preponderância no total de eletricidade produzida, ou seja, a grande maioria da energia é produzida recorrendo aos combustíveis fósseis.

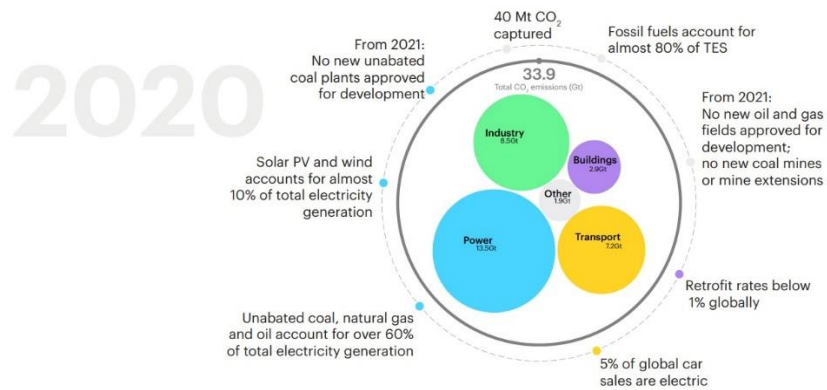


Figura 3 - Estado Energético global antes das políticas e reformas de uma nova cimeira.⁴

Como é possível observar na Figura 3, o setor da produção da energia é o setor que emite maior quantidade de CO₂. Isso deve-se ao facto de a grande percentagem de produção energética ser realizada através de métodos convencionais ligados aos combustíveis fósseis, principalmente gás natural e petróleo. É um dos setores onde a aposta será maior para a redução da pegada ecológica, através da substituição gradual para as energias “verdes”. O setor dos transportes também se encontra em mudança, e cada vez mais significativa, com o aparecimento de novos modelos e marcas de automóveis a optarem pelo caminho da mobilidade sustentável. Até 2020 os veículos elétricos ainda tinham uma pequena cota na globalidade dos transportes, onde 5% dos carros vendidos a nível mundial eram elétricos.

A indústria é o segundo setor com maior taxa de poluição devido à produção de equipamentos, produtos e matérias-primas ainda serem feitos à base de métodos convencionais, tornando os ciclos de produção mais poluentes e pouco eficientes ao nível energético. Até 2021 ainda não havia novas tecnologias para a indústria em fase de desenvolvimento como mostra a Figura 3.

A preocupação com o desenvolvimento de edifícios amigos do ambiente está cada vez mais patente atualmente através de novas legislações para a classificação energética de edifícios, nos novos materiais de construção e nos novos métodos de trabalho desde a forma de projetar o edifício até à sua utilização. Este é o setor onde as emissões de CO₂ são menores, comparativamente aos setores enumerados anteriormente, pois também é aquele que ao longo dos anos mais tem contribuído para a poupança carbónica e energética. De

⁴ Fonte: Agency, I. E. (maio de 2021). Net Zero by 2050 a Roadmap for the Global Energy Sector . p. 221.

salientar, que também é um dos setores onde a importância da população se faz sentir mais na economia energética, quer por questões ambientais, quer por questões financeiras.

Com o avanço tecnológico e com o apoio cada vez maior de todas as partes interessadas, segundo a Agência Internacional de Energia, AIE, é possível reduzir as emissões em 100% [6] como mostra a Figura 4. A grande diferença entre as figuras 3 e 4, resume-se à implementação de legislação, políticas e novas tecnologias em desenvolvimento criadas em parceria entre os países nas cimeiras climáticas.

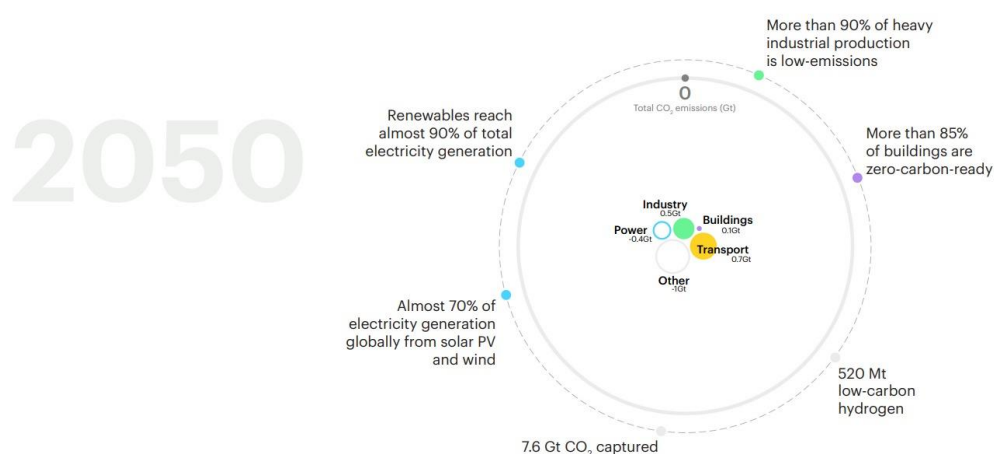


Figura 4 - Estado Energético global previsto se implementadas novas reformas e políticas ambientais.⁵

Cumprir todas as políticas formuladas nas cimeiras sobre as alterações climáticas é um grande desafio para o mundo global atual, pois, a maior parte das tecnologias que permitem atingir os objetivos das emissões poluentes ainda não estão presentes no mercado. Segundo a AIE, durante esta década irá ocorrer o maior esforço e inovação de forma a trazer as novas tecnologias para o combate às alterações climáticas. As tecnologias presentes atualmente, apenas chegam para cumprir as metas até 2030. No caso para as metas de 2050, metade das reduções poluentes provém de tecnologias que estão em desenvolvimento, na fase de conceção e teste. Outro dos desafios, que é tão ou mais importante que o anterior, é a existência de cooperação de todos os países, porque só assim é possível passar de um objetivo para a concretização. [6]

⁵ Fonte: Agency, I. E. (maio de 2021). Net Zero by 2050 a Roadmap for the Global Energy Sector. p. 221.

2.3 ENERGIA EM EDIFÍCIOS

Os edifícios são estruturas desenvolvidas por um conjunto de especialidades que têm como objetivo procurar o bem-estar de quem as usufrui. Cada vez mais as especialidades envolvidas na criação de um edifício trabalham em conjunto para atingir o objetivo comum, a procura de desenvolver uma estrutura eficiente, confortável e de qualidade de forma a suprimir as necessidades que a sociedade exige. Este setor contabiliza a energia total de toda a vida dos mesmos, desde a sua construção, à fase de utilização, aquecimento, refrigeração e iluminação. Em 2022, segundo a AIE, o consumo de energia em edifícios era cerca de 30% enquanto as emissões representavam 26% das emissões globais [7].

O aumento da utilização de energia em edifícios tem sido de progressivamente 1% por ano, exceto em 2020 devido ao impacto causado pela pandemia, COVID-19, como se pode observar pela Figura 5 [7]. O constante aumento de população é um dos motivos para o aumento da necessidade energética; quanto maior a população mundial maior é o número de construções e edifícios que por sua vez aumenta o consumo de energia. Como o crescimento da população mundial tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, principalmente em países em desenvolvimento, como Índia e China, é necessário “recorrer” à utilização dos combustíveis fósseis como meio de produzir energia, pois apesar da evolução e aposta nas energias renováveis ser cada vez mais recorrente e crucial, ainda não é possível que estas possam “sozinhas” suprimir todas as necessidades da população.

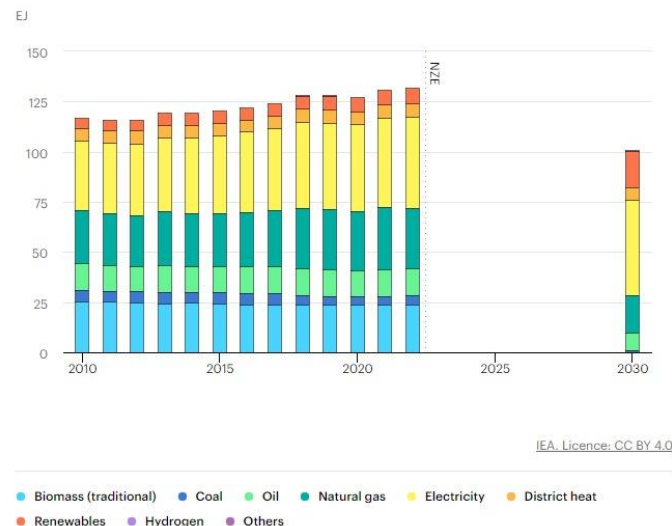


Figura 5 - Energia consumida em edifícios por fonte.⁶

Outro dos fatores que também tem aumentando o consumo global de energia em edifícios deve-se ao facto de ainda ser pouco usual a prática de reabilitação de edifícios, esta é, em média, 2% a nível mundial por ano, em detrimento de novas construções. Para atingir o cenário “Net Zero Emissions” (NZE) em 2050 é necessário que em 2030 o consumo de energia em edifícios desça 25% e que a utilização de combustíveis fósseis diminua cerca de 40%, como se pode observar pela Figura 5 [7]. Para sustentar este plano para 2030, foi estabelecido na Assembleia Geral das Nações Unidas o “guia” dos objetivos para o desenvolvimento sustentável, ODS [8]. Estes abrangem várias questões importantes do quotidiano como desenvolvimento social, económico, saúde, educação, aquecimento global, igualdade de género, energia, urbanização, meio ambiente e justiça social.

O pilar de interesse para a área da energia em edifícios é o número sete, “Energia limpa e acessível” e tem cinco “alvos” de ação que são:

- Acesso universal à energia mais moderna;
- Aumentar a percentagem global de energia renovável;
- Duplicar a eficiência na melhoria energética;
- Promover acesso a pesquisas, tecnologias e investimentos para energia limpa;

⁶ Fonte: [Buildings - Energy System - IEA](#)

- Expandir e melhorar os serviços de energia para países em desenvolvimento. [8]

Seguindo estes procedimentos, é possível alterar o paradigma em que vivemos para um mundo melhor. Apesar de a estratégia estar delineada, o setor da construção de edifícios enfrenta para os próximos anos uma série de desafios de forma a promover a transição energética. Os maiores desafios neste setor remetem à parte técnica e tecnológica, dos materiais, equipamentos, novas técnicas de construção e separação de resíduos. O custo de desenvolvimento das novas técnicas e tecnologias é atualmente bastante elevado, desde a fase de desenvolvimento até ao fim de ciclo, a aplicação dos mesmos. Para isso é necessário encontrar políticas que moldem o mercado da construção civil, eletricidade e também das novas tecnologias renováveis emergentes.

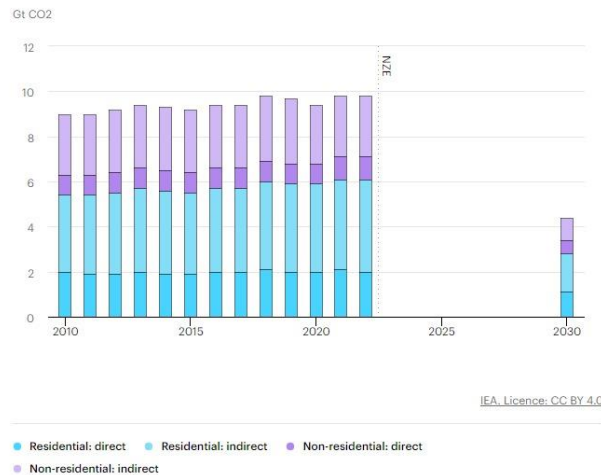


Figura 6 - Emissões poluentes emitidas direta e indiretamente por edifícios.⁷

A quantidade de emissões CO₂ emitidas pelos edifícios apresentam uma constante de proporcionalidade com o aumento do consumo de energia. Analisando as figuras 5 e 6, pode-se concluir que quando aumenta o consumo de energia, por consequência, aumenta também o das emissões. No mesmo período da subida de 1% do consumo de energia, verificou-se a subida da mesma percentagem de emissão de CO₂, apresentando apenas um ano onde as emissões diminuíram, o ano de 2020, da grande crise pandémica que assolou o mundo. De 2021 para 2022 as emissões diretas em edifícios sofreram uma ligeira descida,

⁷ Fonte: [Buildings - Energy System - IEA](#)

em contrapartida, as emissões indiretas aumentaram 1,4%, motivado pelo retorno gradual das atividades de trabalho presencial.[9]

Para assegurar o caminho “certo” para a obtenção do objetivo NZE para edifícios, segundo a AIE, as emissões devem cair 9% por ano até 2030, resultado esperado pela Figura 6. Em 2022 2.5Gt CO₂ [7] das emissões totais, estão associadas à construção de novos edifícios, como produção de cimentos, aços e alumínio. São necessárias medidas de mitigação e de descarbonização de forma a tornar mais limpa toda a cadeia de valor dos edifícios, tais como substituir o betão convencional por um 100% “Net Zero”, implementar estratégias de eficiência e por fim reutilizar e reciclar materiais.

2.3.1 “NEARLY ZERO-ENERGY BUILDINGS”

Uma das estratégias para atingir o objetivo “net-zero” em 2050 remete para a redução de emissões de CO₂ na construção de novos edifícios. Mas o que são “Nearly zero-energy buildings”, NZEB? São edifícios que consomem quase tanta energia como aquela que são capazes de produzir. A Figura 7 mostra a estrutura de um edifício NZEB. Do lado superior esquerdo da imagem da habitação é possível ver que a energia produzida advém de fontes de energias renováveis, como por exemplo painéis fotovoltaicos, já do lado direito, é possível observar os possíveis consumos energéticos de um edifício. O objetivo é que essa diferença entre a energia produzida e utilizada tenha o mais baixo valor possível e para isso poderão ser aplicadas várias estratégias, como por exemplo, utilização de equipamentos com classe energética o mais eficiente possível de forma a poupar no consumo de energia, utilização de produção de energia por fontes renováveis, potencializar o edifício de forma a rentabilizar e tirar partido da sua localização, por exemplo, da exposição solar e optar por materiais de construção mais eficientes termicamente.

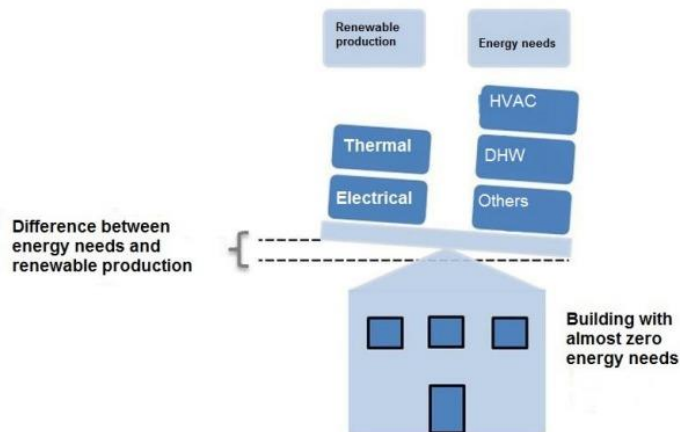


Figura 7 – Representação esquemática de um edifício NZE.⁸

Os pontos positivos deste tipo de construção é que, apesar de consumirem energia, não utilizam fontes de energia fósseis, como petróleo e gás natural como forma de obtenção de energia elétrica. Apesar disso, estes tipos de edifícios apresentam desafios em relação à captação de energia renovável, principalmente ao nível dos painéis solares e fotovoltaicos. Estes ainda têm um rendimento baixo, condicionando assim a quantidade de energia solar captada pelos painéis. Outro dos problemas de edifícios NZEB é de os mesmos apresentarem uma área limitada para a captação de energia, principalmente os edifícios multifamiliares. [10]

2.3.2 ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

A gestão de energia é o processo de monitorizar, controlar e otimizar de forma a reduzir o consumo de energia com o objetivo de conservar o planeta, com a redução das emissões poluentes, diminuir o custo energético inerente a esse consumo e também promover a sustentabilidade energética [11]. Por norma, as estratégias de gestão de energia estão associadas a estratégias com menor impacto, isto é, normalmente associado ao consumo de energia em edifícios, onde só é possível aplicar essas estratégias caso a caso, edifício a edifício. Na Figura 8, é possível observar um fluxograma de funcionamento de uma estratégia de gestão de energia. Nela é possível observar todo o processo de uma

⁸ Fonte: Direção Geral de Energia e Geologia - National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal

estratégia de gestão de energia que se baseia em três principais princípios base, examinação da utilização de toda a energia do sistema, realizar planos de ação e a revisão de objetivos.

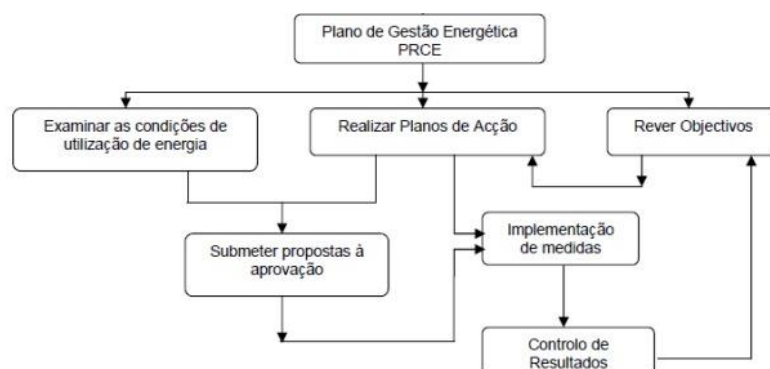


Figura 8 – Exemplo esquemático de uma estratégia de gestão de energia para um edifício.⁹

A etapa inicial requer o conhecimento de dados que permita recolher informações sobre todo o funcionamento do sistema, consumos, custos e fontes de energia, este processo tem o nome de contabilização dos consumos. Depois de recolher as informações, é necessário identificar de forma minuciosa qual o ajustamento a fazer em termos de horários e identificar as oportunidades, por exemplo conciliar, se existir essa opção, o período de maior consumo com fontes de produção de energia renováveis, como a energia solar. Identificando as oportunidades é necessário a construção de planos onde deverão ser definidos objetivos e metas a cumprir de forma a otimizar o edifício com vista à sustentabilidade energética. Durante esta etapa serão testados vários planos iterativamente, até encontrar o ideal para as características que mais beneficiam o edifício no objetivo da poupança energética. De salientar que um plano que funcione para um certo edifício, poderá não ser possível implementar para outro, pois, apresenta características diferentes. Concluído todo este processo, o sistema de poupança energética encontra-se em pleno funcionamento e começa outro novo processo, o da monitorização. Através de gráficos é necessário acompanhar o progresso dos planos e estratégias adotadas, verificando se o sistema está a cumprir os objetivos ou se existe alguma anomalia.

Existem algumas metodologias que permitem promover a eficiência energética em estratégias de gestão de energia. O projeto passivo, é uma das técnicas que permite minimizar as necessidades de energia de um edifício. Esta metodologia começa ainda na fase de projeto, na escolha da orientação da fachada, de forma a melhorar o aproveitamento da luz solar e da convecção natural. Isso também permite definir qual os melhores

⁹ Fonte: Dissertação de Mestrado em Guia de Gestão de energia para Edifícios – Inês Serafim Louzada

isolamentos térmicos e vidros a escolher. Os materiais reciclados têm ganho cada vez mais espaço no ramo da construção. Este caminho é fundamental para a eficiência energética e permite reduzir a pegada de carbono com a escolha de materiais de isolamento reciclados, madeira retificada e betão de baixo impacto ambiental. [10]

A escolha de tecnologias eficientes, como iluminação *LED* ou *HVAC* em edifícios, é outra das metodologias que beneficiam a implementação de uma estratégia de gestão de energia. Estas permitem diminuir drasticamente o consumo de energia, os custos variáveis, na compra de eletricidade e gás natural, e, ainda, permitem oferecer aos ocupantes um melhor conforto nos seus edifícios.

Hoje é impensável pensar num edifício eficiente sem energias renováveis. Estas energias são, sem dúvida, uma grande ajuda na poupança energética, pois não só nos ajudam a produzir mais energia para consumo como esta é produzida de forma “limpa”. Os painéis solares e fotovoltaicos são os exemplos práticos mais utilizados na gestão de energia de edifícios.

2.3.3 CERTIFICADO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO

O certificado energético de um edifício é um documento emitido pela entidade ADENE - Agência para a Energia, entidade gestora do sistema de certificação energética. Contém as características sobre o edifício, o aquecimento, o arrefecimento e ainda medidas com o objetivo de redução de consumo, como isolamentos, instalação de equipamentos eficientes e possíveis medidas para melhorar a eficiência de todo o sistema implementado no edifício. A validade do certificado depende do tipo de edifício. Para pequenos edifícios de comércio e serviço, o certificado é válido para dez anos enquanto para grandes edifícios o certificado deve ser renovado de oito em oito anos [12].

O certificado energético de um edifício tem como objetivo base apresentar um conjunto de dados sobre o desempenho energético de edifícios. Isto é importante para o consumidor, pois permite-lhe fazer comparações entre vários edifícios ao nível da classe energética, por exemplo, torna possível a comparação de edifícios pela sua classe energética, facilitando a escolha pelo futuro utilizador, a nível de eficiência energética e também ao nível da compra.

Cada edifício é classificado numa escala pré-definida de 8 classes, (A+, A, B, B-, C, D, E, F), de forma a identificar o seu desempenho energético. As questões em consideração que levam à classificação do edifício são as seguintes:

- Ano de construção;
- Localização do edifício;
- Tipo de habitação;
- Área de habitação;
- Qualidade dos elementos que envolvem as paredes, cobertas e pavimentos;
- Equipamentos de climatização, aquecimento, arrefecimento e ventilação;
- Materiais e equipamentos associados à produção de águas quentes sanitárias.

Quanto melhor for a classificação de cada um destes pontos, melhor será a qualidade do edifício, valorizando-o. [12]

2.4 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

Atualmente existem inúmeras opções para sistemas de produção de energia em edifícios. A escolha de uma ou mais opções baseia-se em vários fatores: investimento, quais as soluções que melhor se adequam ao edifício e por fim atender às necessidades do consumidor final. Os dois sistemas mais usuais na implementação de formas de produção de energia em edifícios são os painéis solares e os painéis fotovoltaicos. Estes funcionam com energia proveniente do Sol, uma fonte de energia renovável, onde os painéis através de células fotovoltaicas têm como principal objetivo a transformação de energia solar proveniente do Sol em energia elétrica.

2.4.1 PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS

A grande diferença entre os painéis fotovoltaicos e os painéis solares reside apenas na finalidade. Um deles tem como finalidade o uso da energia proveniente do sol para transformar em energia elétrica, painel fotovoltaico, enquanto o outro, painel solar, tem como finalidade o aquecimento de águas sanitárias (energia térmica).

O painel solar apresenta inúmeros benefícios entre os quais, funciona sem emissões de CO₂, garante uma poupança de 60% no aquecimento de água, diminui o consumo de gás natural, podem ser integrados em sistemas que já existam e são sistemas muito eficientes [13].

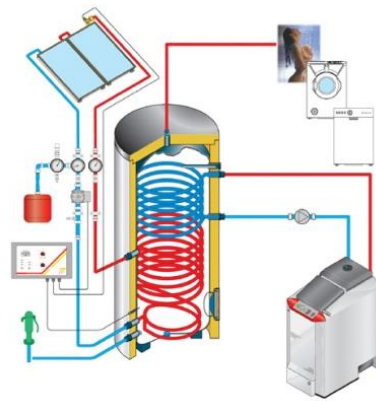


Figura 9 – Circuito completo de um sistema painel solar.¹⁰

Na Figura 9, é possível observar o funcionamento esquemático de um sistema de aquecimento de águas com painel solar. A superfície do painel solar converte a energia solar em energia térmica. Esse calor é absorvido por um líquido solar que se encontra dentro do painel que, com a ajuda de uma bomba e através de tubos de circulação devidamente isolados, “transporta” esse líquido para um depósito de água. Em forma de serpentina, esse tubo que contém o líquido solar, transfere o calor para o depósito de água que alimenta os circuitos de águas sanitárias de um edifício. Esta fica disponível num depósito acumulador. A constituição do material isolante do depósito impede o arrefecimento da água, sendo possível utilizar a água quente em períodos do dia em que não haja sol, por exemplo, durante a noite.

2.4.2 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Os painéis fotovoltaicos são equipamentos capazes de produzir energia elétrica. Para um bom funcionamento, o sistema fotovoltaico necessita dos seguintes componentes: módulos fotovoltaicos, reguladores de carga e inversores de corrente. Estes são constituídos por células, geralmente construídas à base de silício onde são misturados com outros componentes, como fósforo ou boro, são os responsáveis pela captação da energia

¹⁰ Fonte: [Funcionamento painéis solares térmicos para aquecimento \(portal-energia.com\)](http://portal-energia.com)

solar seguido da sua transformação em energia elétrica. Estes módulos são constituídos por células semicondutoras, apelidadas de células fotovoltaicas, que têm a finalidade de gerar corrente elétrica. As células quando expostas à radiação solar, os fotões, energia luminosa, movem os eletrões produzindo assim uma corrente contínua. Acoplado ao sistema fotovoltaico existe um inversor, que tem como função transformar a corrente contínua em corrente alternada utilizada em edifícios. [14]

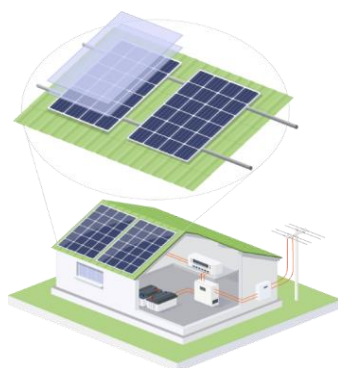


Figura 10 – Exemplo de colocação de painéis fotovoltaicos em edifícios.¹¹

O local e a orientação de colocação dos painéis fotovoltaicos são de extrema importância, podendo ser a diferença entre um maior aproveitamento das potencialidades da energia solar e o desperdício energético. Normalmente os painéis são instalados nos telhados dos edifícios, Figura 10. A altura e a maior exposição solar nesse local tornam, na maioria das situações, o sítio exato para a rentabilidade energética.

Este equipamento ganhou imensa preponderância para o combate às alterações climáticas em edifícios, ajudando assim numa diminuição do consumo de energia da rede pública que, por sua vez, garante uma redução das emissões de CO₂. É possível ainda utilizar estes equipamentos em cooperação com outros equipamentos de outras finalidades, como é o caso das bombas de calor, ou seja, é possível climatizar a casa, aquecer ou arrefecer consoante a necessidade, utilizando os horários de maior produção de energia elétrica. Outra das estratégias de maior aproveitamento dos sistemas fotovoltaicos é o armazenamento do excedente de produção dos painéis em baterias, garantindo não só reservas para uma eventual necessidade de energia como também aumentar a eficiência energética do edifício.

¹¹ Fonte: [How do solar photovoltaic panels work? - Iberdrola](#)

2.5 SISTEMAS CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS

Os sistemas de climatização em edifícios estão divididos entre os métodos passivos e ativos. O princípio da climatização passiva remete para o aproveitamento das variáveis naturais do planeta (atmosféricas): vento, radiação solar e humidade. É importante uma análise detalhada destes fatores, pois a eficiência térmica do edifício advém de um maior aproveitamento deles. Quanto maior importância se der a esses fatores menor será a necessidade energética por meios ativos por exemplo sistemas *HVAC* e iluminação. O objetivo em edifícios é aproveitar as duas formas de climatização, passivas e ativas, de forma a minimizar as necessidades energéticas e também aumentar a qualidade do conforto para os ocupantes. [15]

2.5.1 BOMBAS DE CALOR

As bombas de calor são equipamentos de climatização ativa. Estas são capazes de fornecer aquecimento, arrefecimento ou aquecimento de águas sanitárias a uma habitação ou edifício e são adaptáveis facilmente a qualquer clima. Estes são, atualmente, equipamentos cada vez mais explorados, porque ao contrário de outros equipamentos convencionais, caldeiras a gás ou petróleo, não queimam qualquer combustível fóssil, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

O princípio de funcionamento de uma bomba de calor é muito simples; retira-se calor de um local com a temperatura mais baixa e liberta-se noutra com uma temperatura mais elevada, ou inverso, dependendo se o objetivo for aquecer ou arrefecer o local alvo.

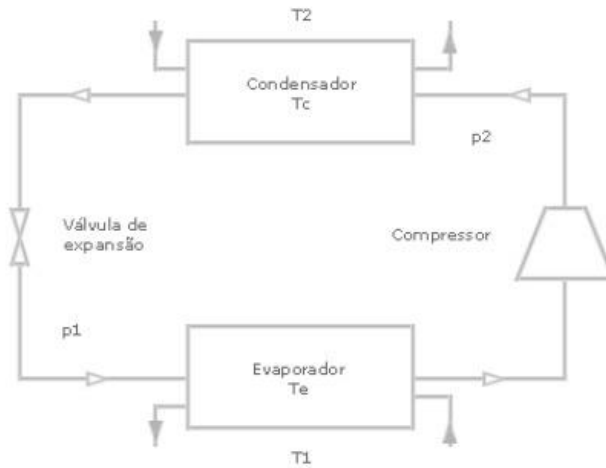


Figura 11 – Componentes constituintes de uma bomba de calor.¹²

A Figura 11 representa esquematicamente todo o circuito e a composição de todos os elementos que constituem as bombas de calor: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão. O primeiro é um elemento que está concebido para aumentar a pressão do fluido no estado gasoso. O condensador funciona como um permutador de calor neste ciclo, onde o fluido refrigerante cede calor para o exterior. A evaporação do fluido refrigerante é realizada na fase de evaporação, no evaporador, é onde a água, dentro do depósito, absorve o calor proveniente desta transformação. Já a válvula de expansão é o elemento que permite controlar a queda de pressão entre o condensador e o evaporador. [16]

Em última análise, o princípio de funcionamento é muito semelhante ao de uma máquina frigorífica. No ciclo de refrigeração, o calor proveniente de uma fonte de energia, exterior ao edifício, podendo ser ar, solo ou a água é assimilado por um fluido frigorígeno que vai ser transportado através de tubagens para dentro do edifício, mais concretamente para o equipamento bomba de calor. Em seguida, o fluido circula através do evaporador, transformando esse líquido em gás, que depois é comprimido com o objetivo de aumentar a temperatura recorrendo à ajuda de energia elétrica, aquecendo assim a água dentro do depósito da bomba de calor. Quando dentro do edifício for necessário a utilização de radiadores, piso radiante ou águas quentes sanitárias, a água quente percorre as tubagens até ao destino final. Em relação ao arrefecimento do espaço interior o ciclo é invertido, levando a bomba de calor a retirar o calor e transferir para o exterior. [16]

¹² Fonte: Dissertação de mestrado em Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais de César Eduardo Carvalho Cerdeira

2.6 SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

A escolha de soluções para armazenamento de energia em edifícios tem vindo a subir de forma notável nos últimos anos com vista à eficiência energética e à sustentabilidade. Esta é uma técnica que permite aumentar a eficiência energética conciliando fontes e produção de energia renováveis, nomeadamente energia solar, e também garantir a disponibilidade constante de energia elétrica para o consumidor. O ideal e mais vantajoso é a utilização do sistema de armazenamento de energia, baterias, com o uso de painéis fotovoltaicos para a produção da mesma.

A utilização de baterias em cooperação com os painéis fotovoltaicos é vantajosa para diminuir a dependência de um edifício ou habitação da rede elétrica. Em certos casos, é possível aproveitar para armazenar grandes quantidades de energia. Para isso, também são necessários grandes investimentos, pois para produzir grandes quantidades de energia elétrica é preciso um grande número de painéis fotovoltaicos. O benefício de “injetar” a energia elétrica produzida na rede, para o consumidor, é pouco vantajoso, principalmente a nível económico. Com este tipo de equipamento consegue-se aproveitar a energia que seria injetada na rede elétrica, para mais tarde poder ser utilizada. Para a rede elétrica também é vantajoso o armazenamento de energia, pois permite não “sobrecarregar” a rede e, não menos importante, diminuir a quantidade necessária de energia elétrica produzida; por exemplo, se o parque electroprodutor de um país ou região for feita por recurso a combustíveis fósseis leva uma redução de emissões poluentes. [17]

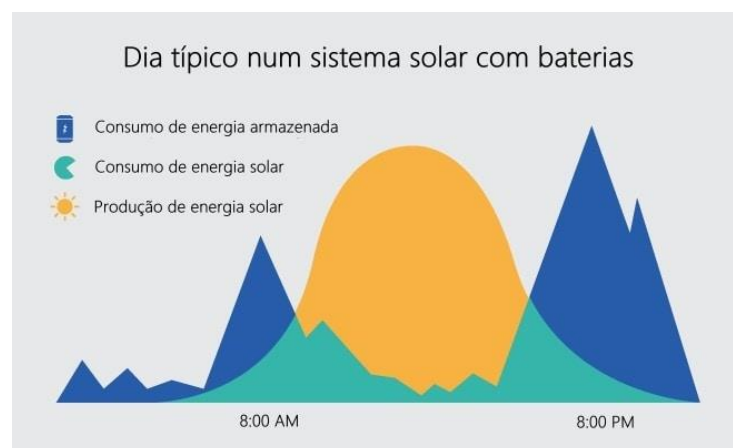


Figura 12 – Diagrama de carga de um edifício ou habitação com a utilização de baterias.¹³

¹³ Fonte: [Vantagens e desvantagens das baterias nos sistemas solares fotovoltaicos \(portal-energia.com\)](http://portal-energia.com)

Por norma, o “pico” de maior consumo de um edifício habitacional é durante a noite, enquanto o edifício comercial ou de serviços tem o seu máximo de consumo de energia durante o dia. A Figura 12 representa um diagrama de consumo de energia em função da produção solar de um edifício habitacional. Com o uso de baterias é possível armazenar parte ou grande parte, consoante o número de painéis a utilizar, da energia produzida pelos painéis. É notório que grande parte da energia produzida durante o dia, coincide com as horas de menor consumo, o qual está relacionado apenas ao consumo residual dos equipamentos frigoríficos. [17]

Com as baterias é possível utilizar a energia no horário de maior consumo, reduzindo o consumo da rede e, conseqüentemente, melhorando a pegada ecológica do edifício. Outro dos benefícios é poder utilizar energia em casos de emergência e extrema necessidade, por exemplo, caso não exista energia proveniente da rede em situações de catástrofe natural ou de manutenção da rede elétrica.

2.7 PROTOCOLO MODBUS

O protocolo MODBUS é um protocolo de comunicação série desenvolvido pela Modicon, publicado em 1979 com o objetivo de ser usado por controladores lógicos programáveis, CLP's. [18] Este é um protocolo aberto, o que significa que é gratuito para os seus utilizadores explorarem abertamente todas as funcionalidades e ainda praticarem o desenvolvimento e a melhoria contínua deste sistema de comunicação.

É um método utilizado especialmente na indústria para transmitir informações entre vários equipamentos. O equipamento que solicita as informações é chamado de servidor, ou “master”, enquanto os equipamentos que lhe fornecem informação são apelidados de clientes ou “escravos”. Numa rede padrão, existe 1 cliente e até 247 servidores. Um exemplo de um sistema que utiliza este protocolo é um equipamento que mede a temperatura interior de um edifício, onde este servidor comunica os resultados da temperatura ao cliente. Este, de acordo com os valores recebidos, toma uma decisão, por exemplo, liga a bomba de calor para aquecer ou arrefecer o espaço, de acordo com os dados obtidos. [19]

A configuração de ligação mais simples do protocolo MODBUS é a ligação de um cabo série único entre as portas série de dois dispositivos, cliente e servidor, como se pode observar na Figura 13.

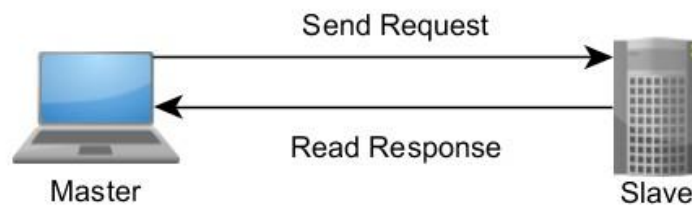


Figura 13 – Exemplo esquemático da comunicação MODBUS.¹⁴

Os dados são enviados com recurso ao sistema binário, *bit*, onde este é constituído por dois dígitos lógicos, 0 e 1. Os *bit's* são enviados sobre a forma de tensão, sendo 0, tensões positivas, e o número 1, tensões negativas. A Figura 14 representa um exemplo da comunicação em MODBUS em representação binária, onde o 0 representa o sinal positivo de tensão de 5 V [Volt] enquanto o bit 1 representa o sinal negativo de tensão de -5 V. [18]

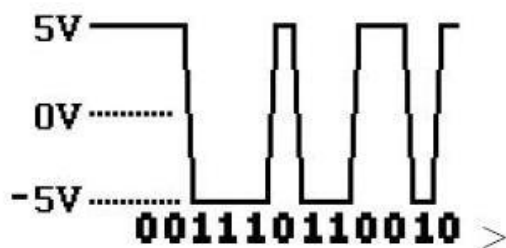


Figura 14 – Exemplo da comunicação em MODBUS em representação binária.¹⁵

De forma a facilitar a leitura de longas seqüências de 0 e 1, os *bit's* são combinados num sistema de numeração hexadecimal. Este sistema, como o próprio nome indica, é constituído por 16 símbolos diferentes, os numéricos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, e as letras A, B, C, D, E e F que correspondem aos números, 10, 11, 12, 13, 14, e 15 respetivamente. Cada bloco de 4 *bit's* é representado por dezasseis caracteres entre números e letras, 0 a F, como se mostra na Tabela 1. [19]

¹⁴Fonte: [What is the Modbus Protocol & How Does It Work? - NI](#)

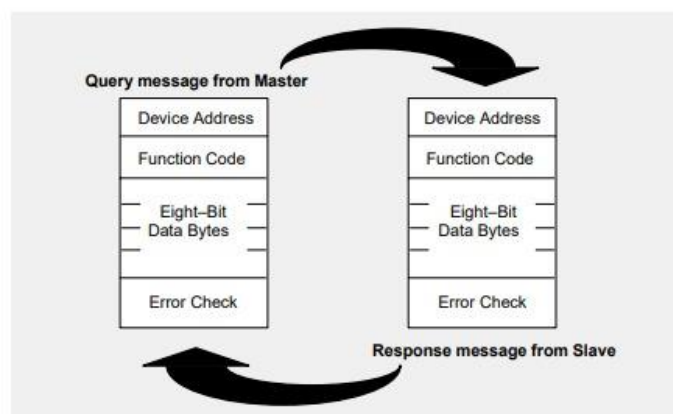
¹⁵ Fonte: [What is Modbus and How does it work? | Schneider Electric USA \(se.com\)](#)

Tabela 1 – Representação da numeração Bit's em sistema hexadecimal.¹⁶

0000 = 0	0100 = 4	1000 = 8	1100 = C
0001 = 1	0101 = 5	1001 = 9	1101 = D
0010 = 2	0110 = 6	1010 = A	1110 = E
0011 = 3	0111 = 7	1011 = B	1111 = F

As informações binárias são armazenadas nos Servidores, e agrupados em quatro tabelas distintas. Cada tabela está dividida, em dois grupos: valores discretos e valores numéricos. Os valores discretos são instruções, como por exemplo comandos *on/off*. Já os valores numéricos remetem para um registo numérico de acontecimentos ou parâmetros, por exemplo, o armazenamento de valores de temperatura registados por sensores.

A partir da Figura 15, é possível identificar todas as etapas do processo de comunicação *Master/Slave* em MODBUS, onde estas estão divididas em dois processos, a consulta e a resposta. A conversação desta comunicação é sempre iniciada pelo *Master* da rede MODBUS. Este envia uma mensagem, denominado de consulta, para o conjunto de *Slave's* da rede; estes interpretam e respondem-lhe, resposta. Através do endereço físico do escravo no cabeçalho da mensagem, esta define qual o *Slave* que deve responder à mensagem. Todos os outros pertencentes à rede ignoram o campo de endereço da mensagem enviada se esta não corresponder ao seu próprio endereço. [20]

Figura 15 – Diagrama de comunicação, Master/Slave em MODBUS.¹⁷

O código de função de consulta enviado pelo *Master* informa o *Slave* que tipo de ação este deverá executar enviando um endereço com dois *bytes* (um *byte* é um conjunto de

¹⁶ Fonte: [What is Modbus and How does it work? | Schneider Electric USA \(se.com\)](https://www.se.com)

¹⁷ Fonte: Modicon Modbus Protocol Reference Guide, PI-MBUS-300 Rev. J

8 *bit's*). Através do primeiro *byte*, o *Slave* fica a saber se a mensagem enviada é ou não relevante; já o segundo é a função de código, ou seja, é este que permite ao servidor saber qual é a tabela onde terá de aceder para realizar a função de um qualquer registo iniciar ou de quantos registos ler ou escrever. A Tabela 2 é um exemplo de uma tabela de comunicação MODBUS, onde cada código de função é atribuído a uma ação e um valor específico. [20]

Tabela 2 - Tabela de função comunicação MODBUS.¹⁸

Function Code	Action	Table Name
01 (01 hex)	Read	Discrete Output Coils
05 (05 hex)	Write single	Discrete Output Coil
15 (0F hex)	Write multiple	Discrete Output Coils
02 (02 hex)	Read	Discrete Input Contacts
04 (04 hex)	Read	Analog Input Registers
03 (03 hex)	Read	Analog Output Holding Registers
06 (06 hex)	Write single	Analog Output Holding Register
16 (10 hex)	Write multiple	Analog Output Holding Registers

Antes de responder ao *Master*, a informação passa por um campo de verificação de erros, com o objetivo de validar a integridade do conteúdo da mensagem.

No processo de resposta, uma resposta normal por parte do *Slave*, envia um “eco”, ou seja, o mesmo código enviado pela função de consulta. Os *bytes* de dados constituintes da mensagem correspondem a informações, como valores de registo, recolhidas pelo *Slave*. Se existir algum erro no processo, o código de função é alterado de forma a indicar ao *Master* qual é a resposta de erro, indicando na mensagem os *bytes* que correspondem ao código que descreve o erro. Antes de ser enviada a mensagem, esta passa por um campo de verificação de erros, para que o *Master* confirme se o conteúdo da mensagem é válido. [20]

¹⁸ Fonte: Modicon Modbus Protocol Reference Guide, PI-MBUS-300 Rev. J

2.8 SISTEMAS DE GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

2.8.1 IMPORTÂNCIA DE SISTEMAS E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS

Sistemas de gestão de energia em edifícios, *Energy management systems in buildings* ou EMS-in-Bs têm, segundo [21], um papel chave na poupança de energia e na implementação de sistemas de gestão de energia mais eficientes em edifícios. Este artigo científico ([21]), visa mostrar os vários tipos de EMS-in-Bs, a sua importância e quais as funções abrangidas por cada um deles. Nele são destacadas as suas seguintes funções: monitorização de desempenho energético, o valor estimado de energia utilizada, controlo sobre a energia consumida e a importância do conforto para os ocupantes.

Existem dois tipos de sistemas que são capazes de gerir os equipamentos elétricos e mecânicos de um edifício, *BMS, Building management systems* e *BAS, Building automation systems*. Estes também podem ser implementados em larga escala, para aquecimento, ventilação e ar condicionado, AVAC, de forma a aumentar o conforto dos ocupantes e a redução do consumo de energia dos edifícios. Além de sistemas *BMS*, existem também sistemas *BEMS, Building energy management system*. A diferença entre estes dois sistemas baseia-se no facto de os *BMS* serem utilizados apenas em larga escala e terem apenas como objetivo o funcionamento automatizado do sistema de gestão de energia de forma eficiente. Já os *BEMS* são mais facilmente adaptáveis aos vários tipos e características dos edifícios e podem ser implementados em pequena e larga escala, ao contrário dos sistemas anteriores, estes têm como principal objetivo a monitorização do consumo de energia e a poupança da mesma. [20]

A constante evolução da tecnologia permitiu o aparecimento de novos ramos nos sistemas de gestão de energia, como é o caso dos *iBEMS*, uma vertente melhorada dos sistemas *BEMS*. Esta evolução está relacionada com o aparecimento e crescimento das redes e ligação digital de equipamentos ou máquinas, o qual é apelidado de *IoT, Internet of Things*. Os *iBEMS* funcionam através de tecnologia *web/cloud*, que permite uma rápida ligação e resposta entre todo o sistema, mas é na sua finalidade que se destaca do modelo anterior, *BEMS*. É que além de se preocupar com as mesmas questões, consumo e poupança de energia, também se preocupa com a qualidade e o conforto dos ocupantes. Segundo [21], “o desempenho da utilização de energia depende do *BEMS*, ou seja, quanto

mais otimizado for, maior é a eficiência energética de um sistema e menor é a utilização de energia”.

A referência bibliográfica [21] teve como objetivo fazer uma revisão sobre os vários tipos de sistemas EMS-in-Bs, com diferentes níveis de desempenho em termos de poupança e eficiência energética. A seleção do sistema a implementar influencia diretamente os resultados a obter; grande parte dos BEMS analisados em [21] alcançaram resultados aceitáveis de desempenho, gestão de energia e a preservação do conforto dos ocupantes. Embora os resultados sejam positivos existem casos onde, por exemplo, um sistema BEMS projetado não consegue atingir um elevado nível de eficiência e gestão de energia para o qual foi projetado. Diferentes tipos de BEMS apresentam sempre desempenhos diferentes, pois, apesar de serem concebidos para a mesma função comum, gestão e eficiência energética, dependem de outros fatores, tais como materiais e equipamentos no qual esses sistemas são construídos e ainda o fator edifício, pois têm que ser projetados tendo em consideração as características do edifício, ou seja, o mesmo sistema de gestão de energia projetado não funcionará num edifício com diferentes características, pois não foi pensado nem projetado para suprimir as necessidades desse edifício. Segundo o artigo [21], “vários níveis de economia de energia foram alcançados adaptando o *design* BEMS às condições ambientais, *design* interno e o tipo e as características do edifício”.

Questões de pesquisa abordadas em [21]:

-“*Quais os principais sistemas/estratégias que permitem realizar poupanças de energia a um ótimo nível no setor dos edifícios?*”;

-“*Existe uma relação entre funções/estratégias implementadas em sistemas EM-in.B?*”

O primeiro passo dado em [21] foi a definição das funções que deveriam ter os sistemas BEMS. Entre elas estão as seguintes: monitorizar, estimar, prever, controlar, analisar, otimizar e gerir. Para o estudo realizado, por opção dos mesmos, os artigos escolhidos apenas foram válidos para estudo dos que apresentavam sistemas BEMS com duas ou mais funções das anteriormente mencionadas. A taxa de poupança de energia foi outro dos critérios adotados para aumentar a qualidade do processo, onde só viriam a ser estudados para este artigo os sistemas que apresentassem mais de “5% poupança de energia”. Em suma, os critérios de seleção foram os seguintes:

-“*Taxa de poupança de energia > 5%* “;

-“EMSs-in-Bs projetados têm que desempenhar duas ou mais funções”;

Definido o tema sobre a pesquisa do artigo e os critérios de seleção, os autores consideraram dois critérios como objetivos a satisfazer de forma a responder às questões propostas:

-“Descobrir qual das estratégias/técnicas aplicadas de EM in Bs, alcançam maior desempenho a gerir e economizar energia”;

-“Tem como objetivo descobrir quais os procedimentos e tarefas que poderão ser aplicadas subsequentemente, na já existência de um sistema EMS-in-Bs aplicado num edifício, de forma a obter uma melhoria e desempenho com a aplicação da função que se enquadra melhor a cada situação”.

2.8.2 MONITORIZAÇÃO EM SISTEMAS EMS-IN-Bs

O processo de monitorização é um dos fatores mais importantes em sistemas EMS-in-Bs, pois apresenta a capacidade de desempenhar o papel na correlação de dados e desempenho de outros processos e funções, tais como, estimativas, previsões, controlo, análise e otimização. Monitorizar é a função que diz respeito ao desempenho energético de um edifício. Em [21], incluiu o estudo de uma ampla gama de EMS-in-Bs, e entre eles foram estudados alguns com a função de monitorização. Os sistemas de monitorização estudados apresentam as seguintes características:

- Sistema de monitorização do uso de energia recorrendo a gráficos de forma a quantificar o desempenho;
- Sistemas de monitorização do uso de energia em edifícios com avaliação de desempenho em aplicações *IoT*;
- Sistemas de monitorização de recolhas e verificação de dados de diferentes equipamentos ou instalações, como, por exemplo, sistemas AVAC, iluminação, perfil dos ocupantes, etc.

Além de sistemas de monitorização de quantificação de desempenho, estes podem ser utilizados para outra finalidade, com o objetivo de desempenhar a função de controlador, ou seja, tomar decisões sobre a redução de energia. No presente artigo, [21], retrata um sistema de monitorização para recolher dados para auditorias energéticas através

da utilização de sensores controlados por aplicativos *IoT*. Esta abordagem é muito utilizada em edifícios denominados “inteligentes”.

2.8.3 ESTIMATIVAS E PREVISÕES EM SISTEMAS EMS-IN-Bs

O processo estimação em sistemas EMS-in-Bs diz respeito a um cálculo e/ou recolha de dados que permitem realizar uma estimativa sobre a utilização do uso de energia, enquanto na função de previsão, trata-se de um processo de prever antecipadamente quais as necessidades dos utilizadores, para, de uma forma eficiente, realizar a gestão de energia sem restringir as necessidades dos ocupantes. Estas duas funções beneficiam a tarefa de monitorizar, pois oferecem mais dados para que todo o sistema funcione de forma o mais eficiente possível atingindo assim os objetivos previstos.

Os sistemas estudados em [21] estão divididos em dois contextos diferentes, função orientada para estimação e previsão (enquanto que a previsão envolve a antecipação de eventos futuros, a estimação já envolve a avaliação do estado do sistema com base em dados disponíveis: previsões para situações de planeamento; estimação para situações de monitorização do sistema em tempo real). O sistema EMS-in-Bs orientado para a função de estimação é normalmente utilizado com o objetivo de os utilizadores do edifício economizarem energia e, por consequência, a redução do custo do consumo de energia. Este método é mais adequado para edifícios comerciais, devido ao grande grupo de instalações e equipamentos que nele podem ser instalados. [21] Estudaram os seguintes sistemas EMS-in-Bs orientados para estimação:

- Utilização num edifício de grande porte de forma a estimar custos de energia com maior exatidão com o objetivo de economizar a demanda de energia. Esta é uma abordagem adequada para edifícios com elevada taxa de consumo.
- Utilização de um método de carga não intrusivo de forma a monitorizar dispositivos elétricos para estimar o consumo correto para uma previsão realizada pelo sistema. Em relação ao método anterior, sistema de gestão de energia de monitorização, este é utilizado em escalas mais pequenas, virado assim para estimar a energia consumida por dispositivos elétricos. Método muito eficiente, embora acarrete com ele uma enorme desvantagem, só consegue estimar os valores do consumo de energia em equipamentos que façam parte do sistema.

Os sistemas EMS-in-Bs orientados para a previsão estudados em [21], têm como o objetivo minimizar o uso de energia, utilização da energia produzida no edifício de forma mais eficiente e através da previsão criar um método de gestão eficaz.

É importante e útil a previsão da procura e consumo de energia em edifícios, especialmente na área da climatização, que tem a capacidade de conferir e promover o conforto térmico dos ocupantes.

Um dos sistemas estudados mencionados em [21], consiste na abordagem e implementação de um sistema de programação dinâmica de controlo não linear com o objetivo de minimizar o uso de energia, tendo em conta o desempenho térmico do edifício e o consumo de energia. A previsão teve um desempenho importante nesta abordagem, pois, com este tipo de método é possível prever quais as alturas de maior consumo, ou menor consumo de energia, nunca descurando a qualidade térmica do edifício e tendo sempre presente o conforto dos ocupantes.

O artigo [21] estudo outra abordagem, a implementação de um controlador lógico para controlar parâmetros em sistemas de estimação e previsão. Neste sistema os parâmetros são adaptavelmente ajustáveis a cada 24 horas e no final de cada ciclo temporal de 24 horas o sistema realizará um plano de previsão do consumo de energia para o dia seguinte, para as próximas 24 horas. Uma grande vantagem deste tipo de técnica é poder realizar previsões em tempo real; um exemplo disso é o estudo das condições meteorológicas, onde o sistema pode prever o aquecimento do edifício ou arrefecimento consoante os dados meteorológicos recolhidos.

A previsão do consumo de energia num edifício com sistema EMS-in-Bs foi também abordada pelo artigo [21]. Este sistema consiste num sistema de previsão do consumo de energia com base de funcionamento através de leituras da temperatura do ar ambiente em graus Celsius, °C, em cada dia. Consiste numa previsão adaptativa de consumo de energia, com o objetivo de controlar o desempenho do edifício, quando o edifício se encontra ocupado ou desocupado.

2.8.4 GESTÃO E CONTROLO EM SISTEMAS EMS-IN-Bs

As funções de gestão e controlo em sistemas EMS-in-Bs complementam-se, sendo estas a base para um bom sistema de gestão de energia com a otimização de poupança

energética. A função de gestão está relacionada com a criação de tarefas aplicadas num edifício com o objetivo de gerir o consumo de energia e está muito associada a sistemas de gestão “inteligente”, pois é facilmente adaptável à situação em contexto real. No caso da função de controlo, torna possível o controlo dos equipamentos que consomem energia no edifício, ou seja, permite controlar os equipamentos consoante a estratégia de gestão definida, tendo em consideração sempre a maximização da poupança energética.

Uma estratégia de função de controlo para edifícios comerciais, revista em [21], baseou-se na estratégia de previsão de controlo do sistema de gestão de energia no edifício. A base deste sistema é a utilização do controlo de equipamentos com recurso a uma rede neuronal que, segundo a *IBM, International Business Machines* em [22], “é um programa ou modelo que toma decisões similares ao cérebro humano, utilizando processos que imitam a maneira como os neurónios biológicos trabalham juntos para identificar fenómenos, identificar opções e chegar a conclusões”. Este sistema, segundo, [21], contribuiu para a redução de 20% do consumo de energia em comparação com o método de calendarização com *interruptores do tipo liga/desliga*.

Este tipo de sistema também pode ser utilizado como forma de gerir o consumo de energia economizada. Foi um dos sistemas abordado no artigo [21], que consiste num método de gestão de distribuição de cargas de um edifício. Uma vantagem que este método permite é a poupança de energia de uma ou mais cargas. A energia consumida é adaptavelmente controlável e gerida e, segundo o estudo feito em [21], garante uma poupança energética de “5% anual”.

A função de gestão tem a capacidade de impactar a “*performance*” e a eficiência energética de um edifício. Por norma, esta é mais, recorrentemente, associada a edifícios “inteligentes”. Através de um estudo analisado em [21], um sistema EMS-in-Bs com orientação para a gestão teve como base de funcionamento, objetivo e consideração o comportamento dinâmico do(s) ocupante(s). É importante a análise deste comportamento, de forma a se poder analisar qual a lógica das interações dinâmicas dos ocupantes nos edifícios, para mais tarde adaptar o sistema de gestão de energia às necessidades dos mesmos, contribuindo para a poupança energética, promovendo a sustentabilidade. Também na função de gestão de energia, foram estudados em [21], tecnologias EMS-in-Bs recorrendo a sensores de forma a projetar e controlar a utilização ideal de energia no edifício, equipamentos ou máquinas. Segundo o mesmo estudo, conclui-se que este tipo de técnica de gestão de energia contribuiu para uma poupança de energia de cerca de “20%”.

2.8.5 ANÁLISE EM SISTEMAS EMS-IN-Bs

A função de análise em sistemas EMS-in-Bs, remetem para a monitorização e recolha de dados de forma que seja possível ajudar a tomar decisões relativamente à poupança e gestão de energia. De salientar que, para que este tipo de sistema contribua significativamente para uma boa gestão de energia de um edifício, é necessária uma análise efetiva e correta para que seja possível melhorar a resposta e o desempenho de todo o sistema. Porventura, caso a análise não seja feita com a abordagem correta, consoante a necessidade energética do edifício, o desempenho também não irá ser favorável, ou seja, este tipo de técnica necessita sempre da interpretação. Constata-se que por vezes, não seja fácil encontrar um equilíbrio na interpretação correta, podendo levar a que os objetivos não sejam cumpridos. Em [21] foram estudados edifícios com os seguintes sistemas EMS orientados para a função de análise:

- Estudo da “*performance*” de energia de um edifício e modelo de otimização para que este tome decisões que permitam um melhor desempenho energético;
- Análise e medição do conforto dos ocupantes em termos de qualidade do ar interior;
- Análise do impacto das cargas no excesso de consumo de energia de um edifício comercial na cidade de Tóquio. O objetivo deste sistema é gerir e analisar eficazmente as cargas, elétricas e de climatização no edifício;
- De forma a melhorar o desempenho geral de um edifício, foi estudado, um sistema de organização de dados, que possibilite o desenvolvimento de um modelo através de dados de referência, modelo multidimensional. Este sistema é possível ser utilizado numa larga gama de edifícios, mas necessita que dados de várias dimensões e parâmetros sejam introduzidos no sistema de forma a possibilitar a projeção ideal de energia. A desvantagem é a necessidade de requerer imenso tempo para o cálculo que permitirá que o sistema tome a decisão correta na gestão de energia naquele momento, e devido a isso, não é favorável aplicar em edifícios que exijam uma resposta rápida e em tempo real.
- Sistema de análise com foco no consumo de energia em sistemas de iluminação artificial em grandes edifícios. O objetivo é monitorizar a energia consumida pela instalação elétrica interna.

2.8.6 OTIMIZAÇÃO EM SISTEMAS EMS-IN-Bs

Em sistemas EMS-in-Bs a função de otimização também está presente. Esta técnica consiste na criação de estratégias de forma que seja possível aplicar num edifício ações “inteligentes” e eventos com o recurso a uma programação e gestão ideal do uso da energia. Esta função é muito importante em sistemas EMS-in-Bs, pois promove a melhoria de desempenho em termos de eficiência energética e da redução do consumo de energia. Normalmente a função de otimização está muito associado a edifícios ditos “inteligentes”. Foram analisados alguns sistemas EMS em edifícios pelos autores em [21]. Os sistemas abordados foram os seguintes:

- Aplicação de método de otimização de dois estágios, com o objetivo de determinar a melhor programação de uma série de componentes ou equipamentos dentro do sistema de gestão de energia num edifício.
- Utilização de uma ferramenta programável com base em agendamento, permite aos ocupantes definirem a quantidade base de energia que suprime as suas necessidades.
- Em alguns casos, foram adotados em sistemas EMS-in-Bs funções de otimização com recurso a algoritmos, que têm como finalidade abranger múltiplos objetivos ou objetivos únicos. Este método permite melhorar a tomada de decisão e a modernização de um edifício em termos de eficiência energética e conforto.

2.8.7 ANÁLISE DOS SISTEMAS EMS-IN-Bs

Para uma análise detalhada de todos os sistemas EMS-in-Bs estudados no artigo científico [21], os vários tipos de sistemas de gestão de energia foram organizados numa tabela (Tabela 3). Esta relaciona o tipo de função do sistema EMS-in-Bs com a sua finalidade/utilização. De salientar, que todos os tipos de funções e suas aplicações deste tipo de sistemas, foram sustentadas por um estudo de vários artigos científicos.

Tabela 3 - Funções vs Aplicações Sistemas EMS-in-Bs.¹⁹

Paper' scope	Applications and/or buildings' types	Selected references
<i>monitor</i>	integrated building automation and management systems	[103, 108-114]
	industrial BEMS	
	hospital buildings	
	quality control and monitoring applications	
	smart and sustainable buildings	
	commercial buildings	
<i>estimate</i>	data centers	[117-119]
	information technology devices centers	
	home appliances monitoring	
<i>predict</i>	multi-power sources BEMS	[99, 120-123]
	heating-cooling demands' buildings	
	buildings with logic controllers	
	commercial daily occupied buildings	
<i>control</i>	building energy-use patterns (management, optimization)	[75, 101, 102, 105, 106, 108, 126, 127]
	optimized commercial BEMS	
	multi-zones' buildings	
	prosumer residential buildings	
	microgrids, smart grids	
	residential demand response BEMS	
	industrial buildings	
	smart BEMS	
integrated building automation and management systems		
<i>manage</i>	hybrid storage systems	[90, 100, 128, 129, 149, 150]
	campus buildings	
	industrial BEMSs	
	smart homes	
	smart grids	
<i>analyze</i>	information and data sharing and exchange between buildings, centers, and utilities	[107, 112, 131-136, 138]
	smart grids; smart buildings	
	IoT and wireless sensors-based buildings	
	building automation	
	energy demand response and dynamic pricing purposes	
	home appliances management	
	heating and cooling purposes at buildings	
	heating and cooling management at residential buildings	
	real-time response buildings	
	building automation and control systems (BACS) for large buildings	
	smart metering	
<i>optimize</i>	building portfolio	[139-144]
	smart home energy management system	
	smart grids	
	smart metering	
	optimal scheduling for hotel buildings	
<i>plan</i>	optimal scheduling for residential buildings	[151, 152]
	planning for smart building	
	planning for decision making	
	planning and management for enhancing indoor environmental quality	
	planning for optimization of EMS-in-Bs	

¹⁹ A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jorgensen, M. Othman and J. Wang, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

De forma a quantificar qual a quantidade do tipo de funções aplicadas nos artigos estudados, foi calculado, segundo [21], a percentagem de cada função nos artigos estudados. Para o cálculo, o autor considerou todas as funções estudadas nos vários artigos como funções principais ou subfunções. Para o cálculo das percentagens o autor utilizou dois critérios:

- Selecionar no artigo estudado a função principal como *keyword*, como por exemplo “monitorizar”;
- Depois de selecionada a *keyword* principal, verificou se no mesmo estudo existia a outra função implementada pelo sistema.

Estes dois critérios permitiram aos autores quantificar qual a percentagem do uso de cada função. Na Figura 16, é possível verificar o resultado do cálculo da utilização das várias funções secundárias em sistemas onde a função principal é a de monitorização, ou seja, por exemplo, “33,3%” dos sistemas de gestão de energia em edifícios com a função principal de monitorização apresentam a subfunção de análise. A mesma linha de raciocínio é aplicada para as restantes funções: analisar, controlar, medir, prever, estimar e otimizar.

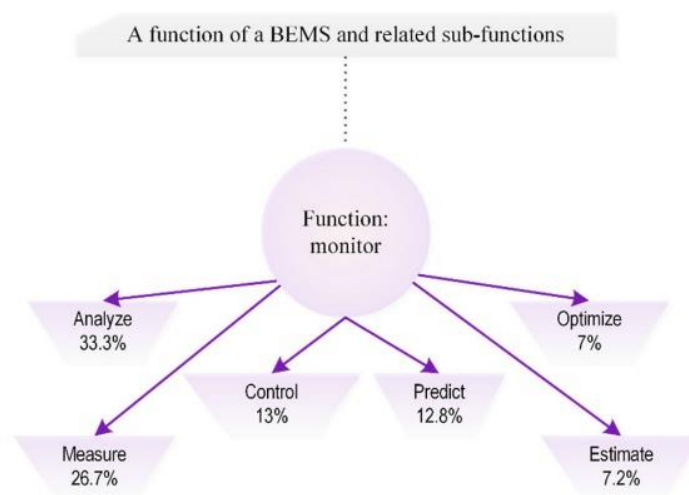


Figura 16 - Sistemas BEMS com função principal de monitorização e suas subfunções.²⁰

Concluída a análise das subfunções de cada sistema, os autores em [21], de forma a procurar uma análise mais detalhada do uso das funções em sistemas de gestão de energia calcularam a percentagem total do uso de cada função e subfunção. Para isso recorreram à equação (1). No numerador da fórmula o objetivo é quantificar quantas vezes uma função

²⁰ A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jørgensen, M. Othman and J. Wang, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

é aplicada nos sistemas EMS-in-Bs estudados. Por exemplo, para a função de monitorização foram encontrados 10 artigos pelos autores, onde esse valor entra diretamente na parcela do numerador. O denominador, corresponde ao total de artigos de todas as funções analisados no artigo científico [21]. Através da resolução da equação (1) obteve-se o valor da percentagem da utilização da função de monitorização (1.2) em todos os sistemas EMS-in-Bs estudados. O mesmo procedimento foi aplicado para as restantes funções.

$$\text{Percentagem} = \frac{\Sigma \text{Função}}{\Sigma \text{Todas as funções}} \quad (\text{Eq1})$$

$$\text{Percentagem função monitorização} = \frac{\Sigma \text{Função monitorização}}{\Sigma \text{Todas as funções}} \quad (1.1)$$

$$\text{Percentagem função monitorização} = \frac{10}{95} \approx 10,53\% \quad (1.2)$$

De forma a tornar possível comparações entre as várias funções estudadas em [21] foi representado num gráfico de barras a percentagem de utilização de cada função nos artigos revistos (Figura 17).

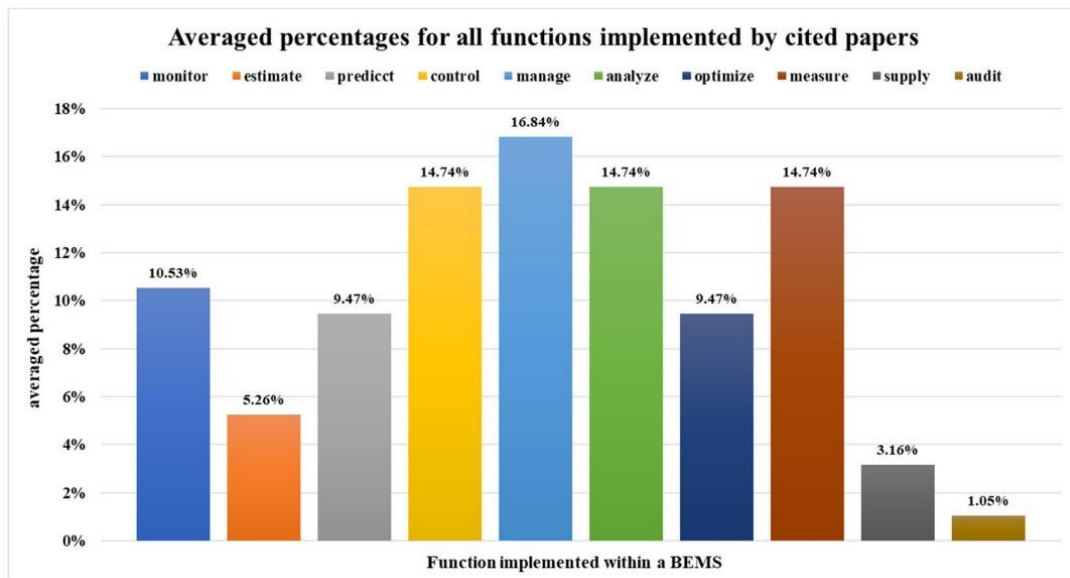


Figura 17 - Percentagem de utilização das funções implementadas em sistemas EMS-in-Bs no artigo [20].²¹

Na Figura 17 é possível observar a predominância na escolha das funções de gestão, controlo, análise e medição em relação às restantes. O motivo para essa predominância resume-se ao facto de estas serem funções que se adaptam mais facilmente a um ambiente,

²¹ A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jørgensen, M. Othman and J. Wang, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

edifício ou situação proposta. Além dessa vantagem, esta função também não necessita de outras funções para desempenhar o seu papel de forma eficiente. Apesar disso, o objetivo é utilizar várias funções, porque com a cooperação entre elas torna-se mais fácil promover a eficiência energética e o conforto dos ocupantes. Em sentido contrário, as outras funções, monitorização, previsão, otimização e auditorias, que foram apresentadas no artigo [21], têm uma taxa de utilização mais baixa. Isso deve-se principalmente por apresentarem lacunas relativamente às restantes funções mais utilizadas, mencionadas anteriormente, e por terem um índice de adaptabilidade mais baixa, além de que dependem de outros fatores ou funções para atingir o seu pleno funcionamento em termos de eficiência energética. Um exemplo prático desse acontecimento é um sistema de gestão de climatização de um edifício com recurso à função de previsão. A previsão do funcionamento deste sistema funciona, por exemplo, através de previsões a cada 24h das condições meteorológicas. Essas leituras do estado do tempo auxiliam o funcionamento correto de, como e quando climatizar o espaço interior do edifício. Claro que este sistema tem uma grande desvantagem, pois depende das condições do tempo para funcionar o sistema de forma correta. Se os dados recolhidos não forem os mais corretos ou se houverem alterações climáticas, este tipo de sistema não se consegue adaptar em contexto real, o que leva a uma menor utilização deste tipo de funções de sistema EMS-in-Bs como mostra a Figura 17.

Terminada a comparação em termos de percentagem de utilização de cada função, é necessária uma comparação mais detalhada para retirar as conclusões certas em termos de eficiência e poupança energética. Na Figura 18, os autores do artigo [21], efetuaram cálculos e mostraram graficamente a poupança média, mínima e máxima de cada função em sistemas EMS-in-Bs.

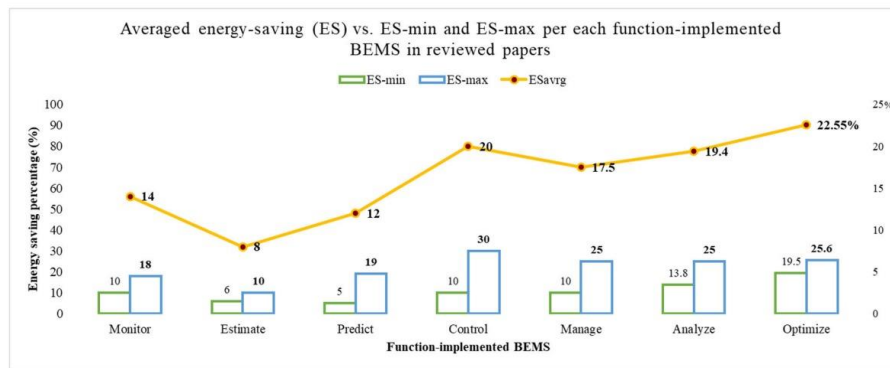


Figura 18 - Poupança energética média, mínima e máxima por cada função implementada nos artigos estudados em [20].²²

A Figura 18 apresenta uma similaridade com a Figura 17, pois as funções que apresentam maior taxa de utilização em sistemas EMS-in-B são aquelas que apresentam também maiores taxas de poupança de energia. A exceção é mesmo a função de otimização, que apresenta uma taxa de utilização menor que a maioria das restantes funções, mas é aquela que apresenta a maior taxa de poupança energética. A explicação é simples, pois esta é a função mais acessível e económica para o consumidor comum, pois é fácil adaptar o seu espaço ou edifício a medidas simples de otimização, como por exemplo, mudar hábitos de consumo, ou aproveitar alturas de excesso de produção fotovoltaica para ligar eletrodomésticos, por exemplo, máquina de lavar roupa ou sistemas de climatização. Além disso, depois da análise feita ao consumo de energia de um certo edifício é relativamente fácil definir objetivos de poupança e consumo energético

2.9 IMPORTÂNCIA DAS BOMBAS DE CALOR NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS MULTIFAMILIARES

Os edifícios na Europa, segundo [23], “consomem 40% do total de energia produzida”. No mesmo artigo científico [23], os autores estudaram a influência e o impacto de medidas adotadas pelo governo da Estónia na implementação de bombas de calor em edifícios multifamiliares. Além dessa medida, de forma a complementar a aplicação das bombas de calor, o governo procurou também a atualização dos antigos edifícios às novas necessidades de eficiência energética.

²² A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jørgensen, M. Othman and J. Wang, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

O estudo baseia-se na análise de energia consumida em edifícios multifamiliares renovados com implementação de bombas de calor no auxílio ao sistema de climatização do edifício. Durante a análise a 24 edifícios, os autores concluíram que o consumo de energia reduziu “22%” com implementação de medidas de renovação de edifícios em detrimento do anterior estado dos mesmos. Com o funcionamento e implementação de bombas de calor nos edifícios renovados foi capaz de se reduzir “69%” do aquecimento de edifícios através de “*District Heating*” (DH), que segundo [24], “é o aquecimento urbano que envolve produção de calor num local centralizado que irá ser distribuído para residências, empresas e industriais de uma certa localidade”. Apesar de as novas medidas aumentarem a eficiência energética de forma significativa, não contribuiu para a diminuição das emissões poluentes provenientes do aquecimento dos edifícios. Este facto deve-se ao aumento de consumo de *DH* proveniente de energias fósseis. Antes das medidas implementadas, o consumo de energia *DH* era mais elevado que o após medidas, mas apesar de isso a quantidade de emissões de gases poluentes aumentou. Isso deve-se ao facto de na situação anterior às novas medidas, existir consumo de fontes não renováveis e renováveis para suprimir a climatização das habitações. Com as bombas de calor diminuiu-se o consumo energético para aquecimento e arrefecimento dos edifícios, o que levou também a uma menor necessidade de consumo energético proveniente de outras fontes. O que aconteceu foi que a parcela de energia produzida por fontes renováveis diminuiu levando a um aumento dos fósseis, o que origina um aumento da taxa de emissões poluentes, apesar de os edifícios se tornarem mais eficientes e consumirem menos energia. O ganho na eficiência dos edifícios foi uma boa aposta, pois estes passaram a consumir menos energia. Foi uma aposta perdida pelo governo não manter os mesmos ou melhorar os níveis de fornecimento de produção de energia para climatização proveniente de energia renovável.

As análises detalhadas do impacto das medidas implementadas pelas bombas de calor foram divididas em quatro fases:

1ª Fase: Recolha de dados mensais do consumo de energia em edifícios multifamiliares incluindo sistemas de ventilação e bombas de calor.

2ª Fase: Recolha de dados do edifício juntamente com produção de energia para aquecimento em área. Além destes dados, também foram adicionados ao conjunto de dados, os boletins meteorológicos do serviço meteorológico da Estónia.

3ª Fase: Construção de um modelo normalizado que organiza o consumo de energia para aquecimento em bases mensais. A temperatura de referência de equilíbrio no interior dos edifícios foi considerada de 17°C.

4ª Fase: Cálculo do impacto da renovação dos edifícios. Para este ponto foi necessário o cálculo de desempenho dos edifícios em estudo antes e depois da renovação dos mesmos, o objetivo é comparar o desempenho do “antes” e do “depois”.

A Figura 19 representa o fornecimento de energia para aquecimento em edifícios na Estónia. É notória a redução da energia para aquecimento proveniente de *DH* ao longo dos anos, representada no gráfico de barras à cor verde. Em sentido contrário está o crescimento do uso da bomba de calor para aquecimento, representado no gráfico pela barra laranja, o que garante ao edifício uma diminuição do consumo de energia de uma média de aproximadamente 215 kWh/m² para uma média de 152 kWh/m², uma redução a rondar a casa dos 30%, o que é bastante significativo.

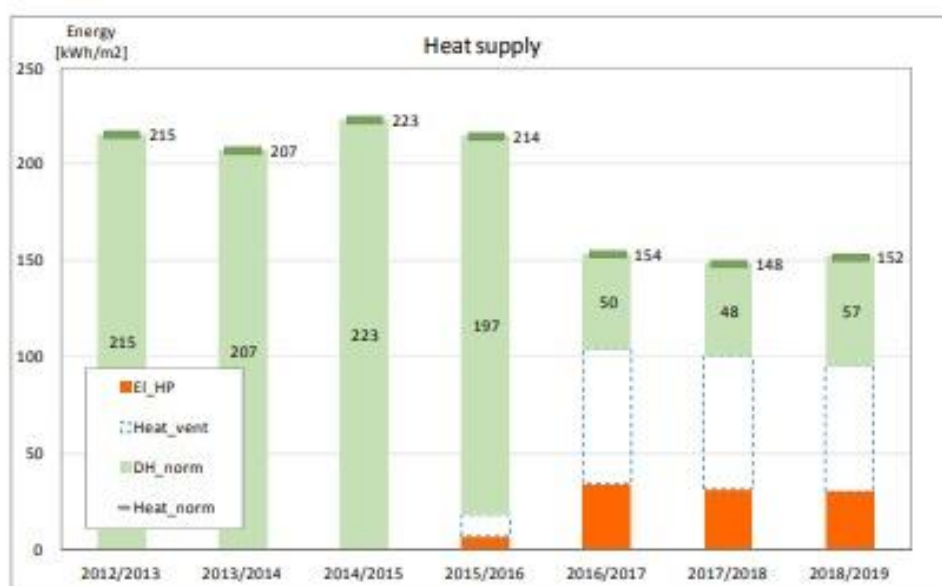


Figura 19 - Fornecimento de energia para aquecimento em edifícios ao longo dos anos.²³

Para uma representação mais esquemática da evolução do desempenho e consumo de energia da implementação da nova legislação na Estónia, os autores em [23] construíram um gráfico de barras com o consumo de energia para climatização dos 24 edifícios escolhidos para estudo, Figura 20. Esta mostra os valores do consumo de energia para

²³ A. Reino and A. Hamburg, "Actual impact of heat pumps to energy performance of apartment buildings in Estonia," 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/RTUCON48111.2019.8982370.

aquecimento dos edifícios antes e depois das novas medidas implementadas pelo governo: renovação dos edifícios e instalação de bombas de calor. A Figura 20 permite ainda concluir que a nova legislação teve um impacto positivo em todos os edifícios, onde, na maior parte, foi possível reduzir o consumo de forma considerável. No futuro, é possível melhorar ainda mais estes valores, caso sejam implementadas novas tecnologias e materiais sustentáveis, bem como o uso de energias renováveis, como por exemplo energia solar, de forma a “ajudar” a diminuir o consumo de energia elétrica como, por exemplo, o consumo das bombas de calor.

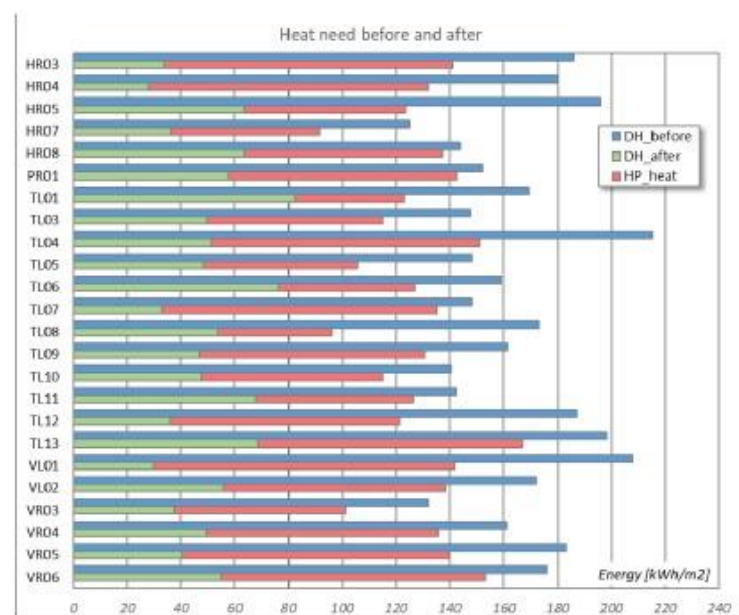


Figura 20 - Consumo de energia para aquecimento antes e após renovações dos edifícios.²⁴

2.10 SISTEMAS DE PAINÉIS SOLARES TÉRMICOS E PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS PARA GERAR ELETRICIDADE EM EDIFÍCIOS

Com o aumento das necessidades energéticas, ao longo dos anos, nos edifícios, houve a necessidade de investimento em novas tecnologias, entre elas, as mais utilizadas, os painéis solares térmicos e os painéis solares fotovoltaicos. Têm sido predominantes e importantes, no combate às alterações climáticas, tendo o objetivo de colmatar as

²⁴ A. Reino and A. Hamburg, "Actual impact of heat pumps to energy performance of apartment buildings in Estonia," 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTU CON), Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/RTU CON48111.2019.8982370.

necessidades energéticas dos consumidores, reduzindo, em simultâneo, a libertação de gases poluentes para o ambiente. O artigo [25] analisa o impacto que estas duas técnicas de produção de energia renováveis têm nos edifícios. O edifício utilizado como base para a análise é um edifício residencial de 3 andares localizado em Milão, Itália. Este, segundo [25], foi projetado “com base nos atuais regulamentos de eficiência energética em edifícios”, tendo o ano de 2023 como referência correspondente à data do artigo.

O sistema implementado neste edifício tinha como objetivo minimizar o consumo de energia. Para isso, foi necessária uma escolha adequada dos equipamentos para a realização dos ciclos de climatização, aquecimento e refrigeração e, ainda, para aquecimento de águas sanitárias. O tipo de sistema utilizado para a realização da climatização do edifício foi *GSHP, Ground Source Heat Pump*. A necessidade energética deste sistema é suprimida com recurso a energia renovável, com implementação de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica.

O objetivo desta técnica é aproveitar a temperatura constante proveniente do solo, e devido a isso, é considerada uma técnica de produção de energia renovável. Isto só é possível pois a temperatura do solo é praticamente constante, independentemente da estação, dia ou hora; ao contrário da superfície, o solo permanece fresco no verão e quente no inverno [26]. A Figura 21 mostra o funcionamento deste tipo de sistema, em duas estações do ano diferentes, uma de maior calor, verão, e outra de maior frio, inverno. Na estação de verão o circuito de ligação do solo à bomba de calor através de tubagens, funciona como um permutador de calor, libertando o calor proveniente de todo o circuito para o solo, arrefecendo assim o fluido presente no circuito, o que leva ao arrefecimento do espaço pretendido para climatização. A mesma lógica funciona para a estação de inverno, sendo a única diferença, a absorção do calor em vez da dissipação, ou seja, como a temperatura do solo é maior que a do exterior, o calor proveniente do solo aquece a tubagem, fazendo com que haja um aumento de temperatura do espaço a climatizar.

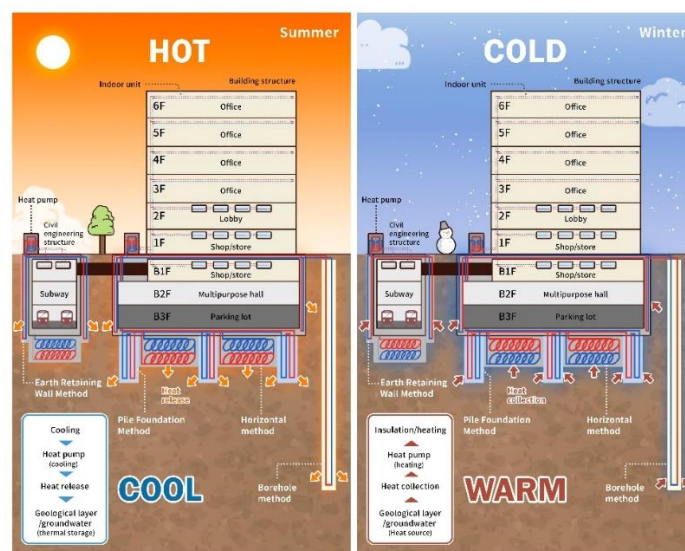


Figura 21 - Ilustração esquemática de um Sistema GSHP.²⁵

Para o aquecimento de águas foi utilizada outra técnica amiga do ambiente, renovável, os painéis solares térmicos instalados no telhado do edifício.

2.10.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício encontra-se localizado na cidade de Milão, Itália. Este tem a finalidade de alojamento para estudantes e é composto por quatro blocos de forma quadrangular ligados por escadas. A Tabela 4 mostra a quantidade de divisões e a respetiva área [25].

Tabela 4 - Áreas das divisões do edifício.²⁶

Total loss surface area	1048 m ²
Total windows surface area	52 m ²
Floor area (gross)	506 m ²
Floor area (net)	394 m ²
Gross thermal zone volume	1669 m ³
Net thermal zone volume	1168 m ³
Surface to volume ratio (S/V)	0.63

De forma a proceder a uma análise mais correta e detalhada, foi necessário analisar as propriedades dos vários componentes/materiais envolventes do edifício (Tabela 5). Segundo [25], como o edifício é “muito articulado”, as perdas de calor do interior para o exterior são altas, o que diminui a eficiência energética do mesmo.

²⁵ Fonte: [Ground Source Heat Pump \(GSHP\) System | Mitsubishi Materials Techno \(mmtec.co.jp\)](http://mmtec.co.jp)

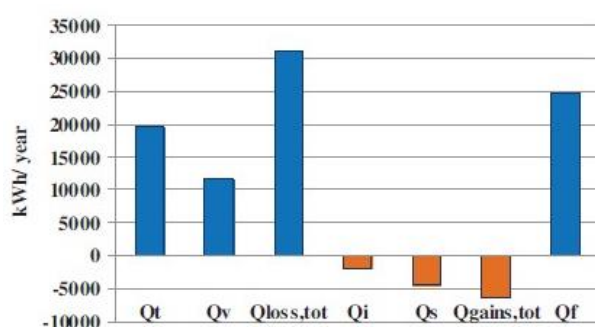
²⁶ Fonte: R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292

Tabela 5 - Propriedades físico-térmicas dos materiais que constituem o edifício.²⁷

Construction	U-value (W/m ² K)	Superficial mass, Ms (kg/m ²)
External wall	0.25	434.67
Ground floor	0.33	282.24
Green roof	0.27	1015.49
Pitched roof	0.27	72.14
Windows	1.14	-

2.10.2 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA DO EDIFÍCIO

Com recurso a software os autores em [24] calcularam a energia consumida pelo edifício. O programa utilizado foi o *CENED*, *Certificazione ENergetica degli EDifici*, que, segundo [25] usa como base para cálculo as leis europeias. O programa permite avaliar as prestações energéticas de um edifício, mostrando alguns dos indicadores mais importantes em forma de um certificado energético. O consumo anual de energia do edifício foi calculado e dividido em duas áreas diferentes, climatização e aquecimento de águas consumindo 24,8 MWh e 4,3 MWh respetivamente. A Figura 22 indica em gráfico de barras, a quantidade de energia perdida, Q_t (perdas de transmissão de calor) e Q_v (perdas de ventilação) e a quantidade do ganho de energia pelo edifício, representado pelo Q_i (ganho de energia interna) e Q_s (ganho de energia solar). O valor representado por Q_f indica o valor total de energia consumida pelo edifício por ano, que tem um valor aproximado de 25000 kWh/ano.

Figura 22 - Perdas e ganhos de energia no edifício.²⁸

²⁷ R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

²⁸ R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

De modo a alterar os resultados obtidos pela primeira análise, diminuindo o consumo e as perdas energéticas e, conseqüentemente, a redução de emissão de gases de efeito de estufa, em [25] propuseram dois sistemas GSHP e painéis solares térmicos com objetivo de aumentar a eficiência energética do edifício. Além destes sistemas, analisaram um segundo sistema de aquecimento de água e climatização convencional, a caldeira, de forma a comparar qual dos casos é mais eficiente para o edifício.

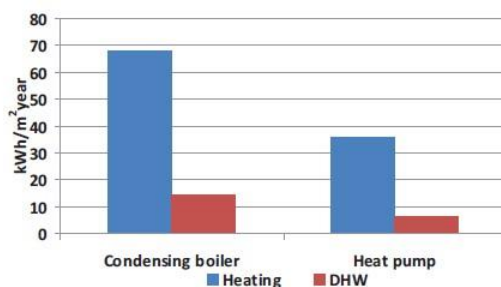


Figura 23 - Consumo caldeira convencional vs bomba de calor.²⁹

A Figura 23 compara o consumo de energia primária dos dois sistemas: caldeira convencional e bomba de calor. No que toca ao consumo de energia para aquecimento, barra azul da Figura 23, a bomba de calor garante um maior desempenho e poupança de energia, consumindo cerca de 52% de energia a menos que a caldeira. Para o aquecimento de águas sanitárias, barra a vermelho, a bomba de calor também apresenta um consumo menor em comparação com a caldeira convencional, tornando-a na escolha mais eficiente para o edifício em termos de eficiência energética, consumo e emissões de gases poluentes.

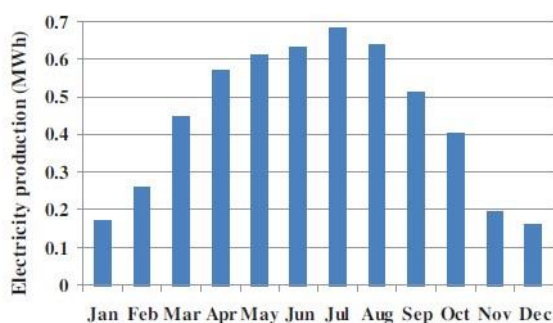


Figura 24 - Produção fotovoltaica por ano.³⁰

²⁹ R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

³⁰ R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

Os painéis fotovoltaicos foram outro dos sistemas estudados com objetivo de melhorar a eficiência energética do edifício. A finalidade é aproveitar energia limpa proveniente do sol e transformá-la em energia elétrica, de modo a atenuar o consumo de energia elétrica da bomba de calor proveniente da rede elétrica, ou então, que esta funcione em horários onde existe excedente de produção fotovoltaica. Segundo [25], o consumo total de energia elétrica do edifício é cerca de 11 MWh/ano, onde cerca de 7 MWh/ano é consumido pelo sistema GSHP. Os painéis fotovoltaicos escolhidos por [25] para estudo são módulos de 210 W de potência, onde a eficiência dos mesmos ronda os 14,2%. O edifício tem possibilidade de instalar até 22 módulos, onde a potência total será de cerca de 4,62 kW. Com estes dados dos equipamentos, o autor, colocou a produção de energia elétrica pelos painéis fotovoltaicos num gráfico de barras, Figura 24, para cada mês do ano. Na totalidade do ano a produção de eletricidade ronda os 5,3 MWh, e segundo [25], esta energia produzida cobre cerca de 76% de eletricidade consumida para o aquecimento do edifício, e 53% para a totalidade de energia necessária e consumida no edifício ao longo do ano.

Para as necessidades de água quente sanitária foi estudado um sistema constituído por um painel solar térmico. Foram escolhidos para estudo dois coletores solares com uma área total de 5,1 m². O gráfico de barras da Figura 25 apresenta a percentagem que os painéis solares térmicos conseguem suprimir relativamente às necessidades de aquecimento sanitário, por mês, durante um ano. Segundo [25] este sistema consegue suprimir as necessidades em “mais de 58%” do aquecimento de águas sanitárias. Pelos dados mostrados na Figura 25, é possível concluir que durante os meses de maior exposição solar este sistema tem um rendimento bastante elevado, o que suprime a maior parte das necessidades para o aquecimento sanitário; em sentido contrário, nos meses de menor exposição solar o sistema perde rendimento, necessitando de um sistema suplementar na resposta às necessidades para o aquecimento das águas.

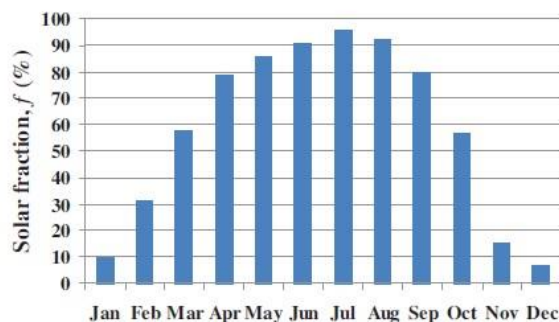


Figura 25 - Fração solar, em percentagem, mensal para aquecimento sanitário.³¹

Um dos fatores importantes, além da eficiência energética e redução do consumo, é a redução dos gases poluentes provenientes do uso dos sistemas, quer na produção de energia para aquecimento, quer para aquecimento de águas sanitárias. A Figura 26 é um resumo feito por [25], de forma a mostrar e a comparar o impacto da emissão de CO₂ (dióxido de carbono) para a atmosfera.

Conclui-se que os sistemas que utilizam alguma forma de energia renovável para o seu funcionamento têm taxas de emissões de CO₂ mais baixas que os sistemas convencionais. Isso deve-se ao facto de a maior parte da energia produzida por sistemas convencionais ser proveniente de combustíveis fósseis, fontes de energia não renováveis, que, por sua vez, são constituídos por elementos de carbono, aumentando assim as emissões poluentes. Um exemplo prático que é possível observar pela Figura 26, é a utilização de GSHP para aquecimento interior do edifício em vez do aquecimento convencional, que reduz cerca de 1,4 tCO₂ por ano, que é quase metade das emissões provenientes do sistema da bomba de calor. Outro caso particular são os sistemas fotovoltaicos, que não emitem CO₂, permitindo reduzir as emissões anuais em 2,30 tCO₂, pois permite que a energia elétrica produzida pelos painéis seja aproveitada pelo edifício, como por exemplo, no funcionamento das bombas de calor. Assim, reduz a necessidade de utilização de energia proveniente da rede elétrica ou de outra fonte de energia não renovável que alimente o edifício, tornando não só este mais eficiente, mas também mais amigo do ambiente.

Os números das emissões de CO₂ anuais do sistema com bomba de calor poderão ser ainda mais atenuadas, pois, ainda é possível, aproveitar a energia produzida de forma mais eficiente, armazenando a energia fotovoltaica excedente não utilizada durante as horas

³¹ R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

de maior produção de energia, ou então melhorar o sistema, aumentando o número de painéis, escolher painéis de potência mais elevada e de maior rendimento.

	Energy consumption	Unitary emissions [15]	Amount of emissions
	MWh	t _{CO2} /MWh	t _{CO2}
Condensing boiler	25.40	0.1998	5.08
DHW with condensing boiler	2.49		0.50
GSHP	7.00	0.4332	3.62
PV	5.30		2.30
DHW with GSHP	2.49		1.08

Figura 26 - Consumo vs emissões CO2 em cada um dos sistemas estudados.³²

³² R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.

3 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO

3.1 CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO

3.1.1 LOCALIZAÇÃO

O edifício situa-se na Rua Dom Gomes de Aciegas, pertencente ao concelho de Felgueiras. O edifício, já construído, encontra-se localizado perto dos principais acessos e serviços do município. A distância que este dista para o centro da cidade resume-se a dois quilómetros. Na Figura 27, pode-se observar a localização do edifício.

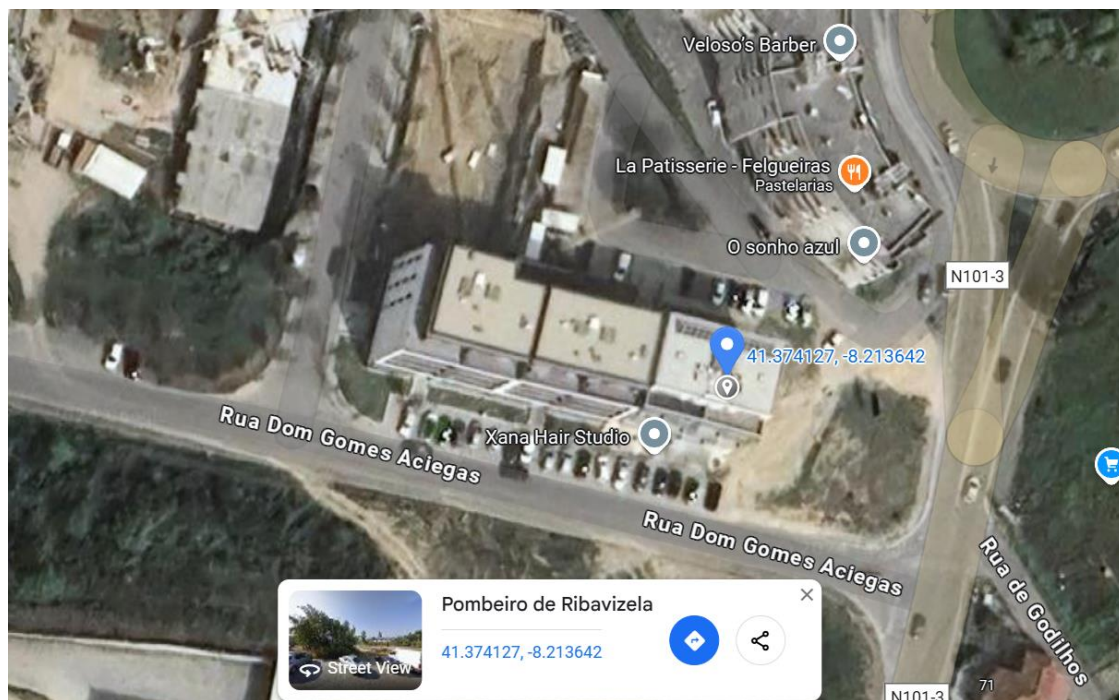


Figura 27 - Localização do edifício.³³

Para uma maior facilidade de acessos, o edifício encontra-se localizado perto de uma entrada de autoestrada e de um cruzamento de duas estradas nacionais, sendo uma no sentido de Guimarães e outra no sentido de Vizela. Esta localização permite uma facilidade de acesso a outras cidades e municípios, como também a serviços e comércios.

³³ Google maps link: https://www.google.pt/maps/@41.3742208,-8.2140818,131m/data=!3m1!1e3?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTlwMy4wKXMDSoASAFQAw%3D%3D

A orientação da fachada principal foi implementada no sentido sul dos pontos cardeais, de forma a maximizar a exposição solar durante o dia. É de extrema importância a orientação da fachada, pois é devido a esta que deriva a melhor escolha no que diz respeito aos materiais de construção, desde a fase inicial até aos acabamentos interiores. Um exemplo disso é o isolamento das paredes ou o tipo de fachada exterior a utilizar, para uma melhor eficiência energética, acústica e de isolamento.

O edifício é composto por 6 pisos, a garagem -1, o comércio 0, habitações T3 correspondem aos pisos 1 2 e 3, e para habitações T4 corresponde ao 4 e último piso. A entrada principal situa-se no piso 0 na fachada principal, Figura 28, do edifício. Todos os apartamentos apresentam a mesma área útil de aproximadamente 150 m².



Figura 28 - Fachada principal do edifício.

3.1.2 CONSTITUIÇÃO DO EDIFÍCIO E HABITAÇÃO T3

O foco do estudo resume-se somente a um apartamento T3, pelo motivo da existência de um maior número de apartamentos desta mesma tipologia no edifício, representando 70% do consumo total do edifício. Logo, numa possível criação de medidas de gestão de energia, a melhoria da poupança energética de uma habitação T3 poderá ter mais impacto na globalidade do consumo energético do edifício em relação à tipologia T2.

A habitação em estudo está localizada no piso 3, como é possível observar pela Figura 29 e Figura 30.



Figura 29 - Localização da habitação em estudo alçado principal.



Figura 30 - Localização da habitação em estudo no alçado posterior.

O apartamento T3 tem aproximadamente 150 m² de área. Estes são constituídos por seis divisões: duas casas de banho, três quartos e uma sala/cozinha *open space*, como se pode observar pela peça desenhada apresentada na Figura 31. O pé direito em todos esses espaços de 2,65 m.

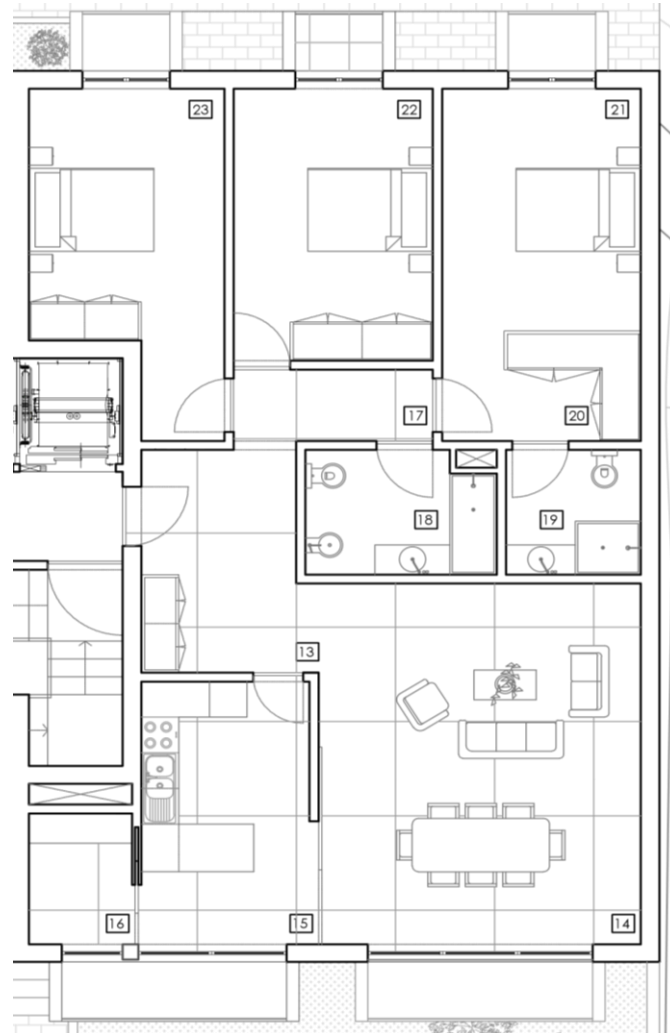


Figura 31 - Planta 2D da tipologia T3.

As paredes interiores são constituídas por gesso projetado em bloco térmico, o que garante um bom isolamento térmico face ao exterior. Relativamente ao acabamento exterior é constituído por duas camadas: um isolamento exterior em poliestireno, um bom acabamento não só no que toca ao conforto térmico da habitação como também reduz a humidade por condensação, assegurando assim a impermeabilidade das paredes exteriores, e, ainda, o acoplamento sobre o isolamento de painéis de alumínio compósitos, apelidada de fachada ventilada.

Outro dos materiais que garante um bom isolamento são as janelas. Estas são compostas por uma caixilharia alumínio de corte térmico com vidro duplo e proteção solar para o exterior.

Como se trata de um edifício “amigo” do ambiente, a promoção da sustentabilidade energética está presente, com vista ao objetivo global da descarbonização. Uma das formas encontradas de atingir esse objetivo é a de não contemplar instalações de gás natural. Esta opção, tomada na construção do edifício, abre uma janela de oportunidade para a aposta em energias renováveis, como por exemplo, na energia solar.

O apartamento T3 em estudo terá produção de energia elétrica para autoconsumo através de dois painéis fotovoltaicos de 450 W cada. Estes equipamentos estão associados à instalação elétrica da habitação e, ainda, auxiliado pela qualidade dos materiais de construção, irão favorecer a utilização de equipamentos alimentados somente por energia elétrica em detrimento de equipamentos a gás natural, principalmente a placa de indução e a bomba de calor.

Em substituição do esquentador a gás natural, a solução passa por implementação de uma bomba de calor com depósito de 200 litros de capacidade com 6 kW de potência. Esta permite realizar duas funções, aquecimento central e aquecimento de águas sanitárias. Como a eficiência destes equipamentos é bastante alta, a “cooperação” entre a energia elétrica obtida pelos painéis fotovoltaicos e a bomba de calor é bastante benéfica para o consumidor final, pois, além de reduzir o consumo de energia elétrica proveniente da rede, também melhora a eficiência da utilização da bomba de calor. De forma a ajudar o aquecimento de águas sanitárias, será também implementando um painel solar. O painel solar escolhido, terá 405 W de potência e será do tipo circulação forçada. A escolha de um painel solar deste tipo teve como motivo reduzir as perdas de calor. E isso é possível devido ao facto de o depósito instalado ser no interior da instalação ao invés do que acontece num painel solar convencional, termossifão, que são montados normalmente no telhado das habitações. Outra das vantagens da escolha deste tipo de painéis solares é a possibilidade de acoplar este sistema a outro equipamento de produção de água quente, como por exemplo a bomba de calor instalada no apartamento T3.

O aquecimento deste apartamento T3 será realizado pela bomba de calor com recurso à utilização de piso radiante. A mesma, também realizará a função de arrefecimento do espaço, com recurso também ao piso radiante.

Para um melhor aproveitamento da energia elétrica proveniente dos painéis fotovoltaicos, será instalada uma bateria com 3 kWh de capacidade de forma a permitir acumular a energia excedente produzida em dias de maior exposição solar.

3.1.3 CONSUMOS DE ENERGIA

A potência contratada para o apartamento T3 é de 6,9 kVA. A instalação elétrica deste apartamento contempla uma *wallbox* para carregamento de veículos elétricos, e, por isso, a instalação está sobredimensionada para utilização para a potência de 10,35 kVA, para que o utilizador final possa retirar o máximo partido da instalação elétrica para veículos elétricos, promovendo assim a mobilidade elétrica e a sustentabilidade energética.

A Tabela 6 apresenta os valores de energia consumida pela habitação T3 tendo como referência o ano de 2023, ano considerado como referência para o trabalho. Para o apartamento, só existe uma repartição única de energia, pois, toda a energia consumida é proveniente de energia elétrica da rede, ou de sistemas de aproveitamento de energia, como é o caso dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 6 - Consumo de energia elétrica para o ano de 2023.

Ano 2023	Vazio Normal kWh	Super Vazio kWh	Cheias kWh	Ponta kWh
janeiro	50,80	53,89	42,32	19,60
fevereiro	46,72	28,74	44,75	20,26
março	67,77	27,13	57,78	25,14
abril	21,92	45,78	26,69	13,80
maio	16,79	43,32	25,55	14,42
junho	21,30	35,96	23,36	13,27
julho	27,81	35,15	23,38	13,09
agosto	24,96	26,87	29,92	13,17
setembro	24,50	38,19	22,29	13,31
outubro	25,62	44,06	22,29	14,15
novembro	22,55	47,08	28,98	12,73
dezembro	41,89	42,67	49,09	12,35

3.2 PROPOSTA DE SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA PARA O ESTUDO DE CASO

O presente projeto tem como objetivo desenvolver um sistema que permita economizar energia elétrica num apartamento T3. O principal objetivo é gerir vários equipamentos em simultâneo, sendo estes, bomba de calor, painéis fotovoltaicos, bateria de armazenamento de energia e a alimentação de energia elétrica proveniente da rede. A meta a atingir para este sistema é a poupança diária de energia. O sistema a desenvolver tem como base a análise, gestão, otimização e controlo como as principais funções no desenvolvimento do sistema de gestão de energia.

De forma a sequenciar o funcionamento de todo o sistema, e englobar as funções escolhidas para o desempenho de todo o sistema, foi necessário proceder à criação de um fluxograma, Figura 32. Para a criação desta metodologia foi necessário obedecer a várias regras, de forma a priorizar sempre a poupança energética. As regras adotadas são as seguintes:

- Aproveitamento do excesso de produção fotovoltaica, pela bomba de calor ou armazenamento de energia para as baterias;
- Sempre que possível priorizar o aquecimento de águas sanitárias em vez de carregar baterias ou climatização do espaço; temperatura objetivo é de 45°C, ou seja, quando a temperatura for inferior a 45°C e haja excesso de produção fotovoltaica, o sistema liga, aquecendo a água até aos 45°C;
- Após a priorização do aquecimento de água estiver cumprido, e se mantiver o excesso de produção fotovoltaica, o sistema irá priorizar de seguida a climatização do espaço. Desta forma é possível promover o conforto dos ocupantes em primeira instância com o excesso de produção fotovoltaica; a temperatura objetivo é de 22°C, ou seja, se houver excesso de produção após a etapa de aquecimento de águas sanitárias, o sistema irá climatizar o espaço, se a temperatura for menor que 22°C liga até atingir essa temperatura, caso a temperatura seja mais alta, o sistema liga, diminuindo a temperatura até atingir o objetivo dos 22°C.
- O armazenamento de energia nas baterias só será realizado quando existe excesso de produção, e esteja já verificado o conforto dos ocupantes, ao nível de climatização e aquecimento de águas sanitárias;

- Ligação à rede elétrica e comutação entre vários tipos de fontes de energia, fotovoltaica, baterias e rede elétrica;
- Registo gráfico dos dados recolhidos do consumo dos vários equipamentos, bem como também a quantidade de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos.

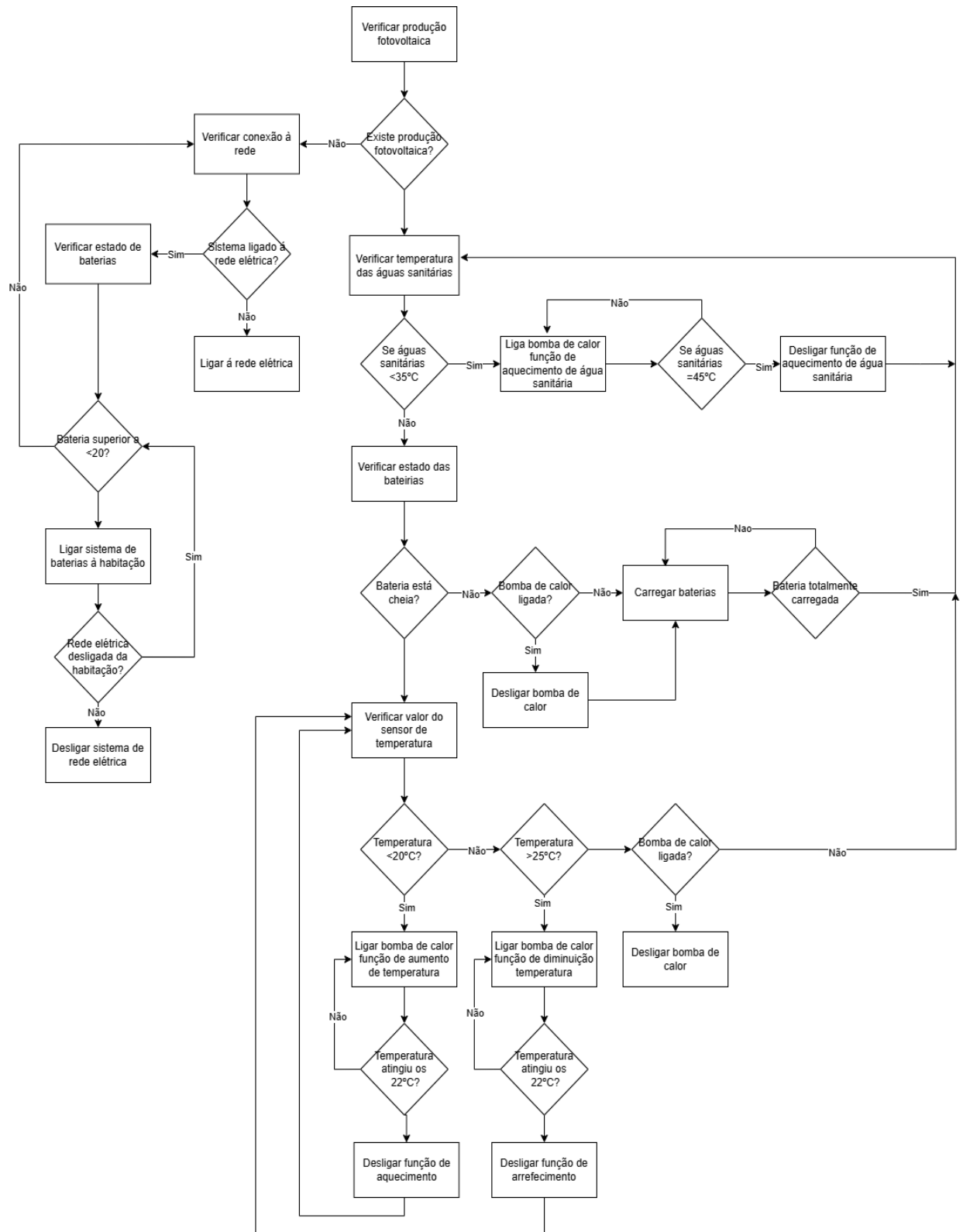


Figura 32 - Fluxograma sistema de gestão de energia inicial.

3.2.1 COMUNICAÇÃO DO SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

A comunicação base escolhida para funcionamento do sistema de gestão de energia foi a MODBUS, um sistema de comunicação simples e que permite a ligação de todos os equipamentos englobados no sistema. Além disso, permite que um controlador “mãe”, Arduíno ou um microprocessador, que possa realizar a gestão dos equipamentos em rede, visando sempre a economia e eficiência energética. De forma a programar todo o sistema, tornando-o “inteligente”, é necessário utilizar linguagem de programação, por exemplo em C ou Python, de forma a criar as condições e parâmetros necessários para que os equipamentos possam atuar de forma mais otimizada. É também através desta programação que, o microprocessador ou Arduíno tem a capacidade de gerir toda a informação relativa aos equipamentos de forma autónoma.

A gestão de todo o sistema irá ser realizada automaticamente por um controlador desenhado para o efeito, onde este irá decidir em função da programação implementada, respeitando o funcionamento do sistema representado pelo fluxograma da Figura 32. Além do sistema funcionar de forma automática e autónoma, terá também uma função manual de comutação, ou seja, o sistema irá apresentar outra forma de comutar os circuitos do sistema. O controlo manual servirá para resolver possíveis problemas de funcionamento de algum dos equipamentos, isto é, se existir algum problema, o utilizador poderá então seccionar a parte do circuito que apresenta problemas como, por exemplo, a substituição de um equipamento. Além desta função, a principal será o seccionamento do circuito ou equipamentos para manutenção, por exemplo, substituir alguma peça de um equipamento, ou simplesmente realizar limpeza. O utilizador, ao seccionar um equipamento manualmente, permite que o resto do sistema continue a funcionar de forma automática, exceto a parte que seccionou. Para isso é necessário a implementação de um ecrã acoplado ao sistema. Neste *display* serão registados todos os dados relativamente às ligações a jusante do sistema desenvolvido. Na comutação manual, é de salientar que a sua utilização será sempre da responsabilidade do utilizador, e sempre realizada em casos de manutenção ou substituição de equipamentos.

O sistema “mãe” do equipamento em desenvolvimento será implementado na mesma localização do quadro elétrico do apartamento T3. A construção e ligação deste sistema será realizada dentro de um quadro elétrico de acordo com as normas elétricas e de segurança. Dentro do quadro elétrico serão implementados equipamentos de proteção e de

comutação elétrica, como por exemplo relés e disjuntores. Além destes equipamentos, o *display* anteriormente mencionado também será colocado neste quadro.

3.2.2 DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES DO SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

O sistema de gestão de energia será implementado no mesmo local onde está instalado o quadro elétrico da habitação, figuras 33 e 34.

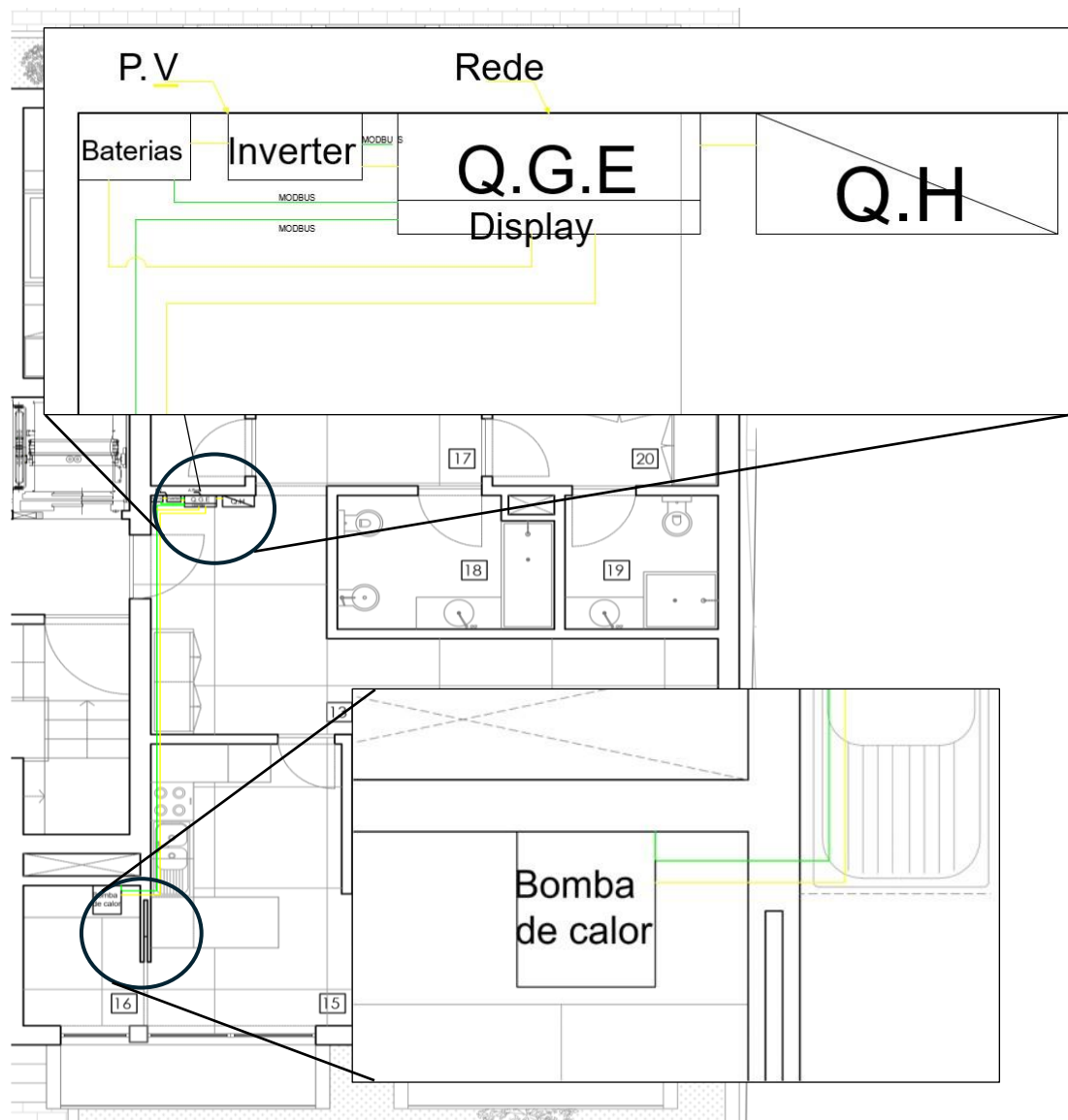


Figura 33 - Localização equipamentos de gestão de energia.

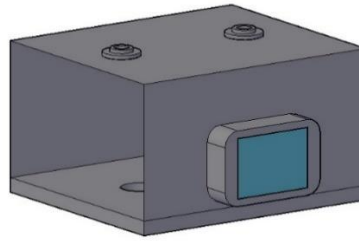


Figura 34 - Esquema 3D do quadro de gestão de energia.

A partir deste sistema é possível ligar os vários equipamentos recorrendo ao protocolo MODBUS bem como, também, à ligação de alimentação elétrica proveniente da rede, dos painéis fotovoltaicos e da bateria.

3.3 ESTUDO DA HABITAÇÃO T3 PARA SIMULAÇÃO

O modelo geométrico para simulação é o correspondente à Figura 35. Nela, é possível identificar o exercício de zonamento. Neste exercício, a habitação foi dividida em 6 zonas diferentes, três quartos, duas casas de banho, e uma sala e cozinha *open space*. O pé direito considerado para todos os espaços é de 2,65 m. Também todos os espaços foram identificados como zonas climatizadas independentes, pois é possível regular a temperatura de climatização área a área.

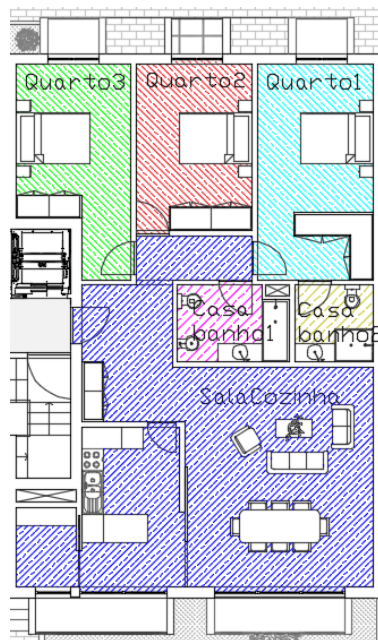


Figura 35 - Exercício de zonamento para a habitação T3.

Para a parametrização do modelo em relação às propriedades físicas da habitação, elementos construtivos, procedeu-se à consulta da memória descritiva do projeto, bem como aos planos de construção para a habitação. Com esses dados foi possível a construção de uma biblioteca com a informação necessária com os vários elementos necessários inerentes à simulação, meteorologia, elementos construtivos e suas propriedades.

3.3.1 RECOLHA DE DADOS PARA CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para a simulação da habitação, recorreu-se à utilização de três softwares, SekthUp, Openstudio e EnergyPlus, que se complementam entre si. O programa SekthUp foi utilizado para modelação da habitação, criação das zonas térmicas e associação dos elementos de construção e suas características técnicas ao espaço.

O software Openstudio serve para contabilizar todas as características da habitação, desde contabilização das cargas de cada zona térmica, calendários de ocupação e associação de sistemas HVAC.

Para o cálculo e apresentação de resultados foi utilizado o EnergyPlus. Os resultados são mostrados em tabelas e gráficos condizentes com os dados introduzidos no Openstudio.

Após finalizado o cálculo, recorre-se a uma análise profunda sobre os resultados, e retira-se a conclusão, se é vantajoso ou não a implementação de um sistema de gestão de energia na habitação, e se sim, quais as condicionantes e como será possível melhorá-lo ao longo do tempo.

3.3.2 METEOROLOGIA

Os dados climáticos utilizados como ponto de partida para a simulação computacional, tiveram como referência o distrito de Porto (latitude: 41,23N; longitude: -8,68W; Elevação: 73m). Os dados climatéricos foram retirados do site oficial do programa EnergyPlus.

Com os dados retirados, a simulação vai ser realizada para um intervalo de um ano, desde 1 de janeiro de 2023 a 31 de dezembro de 2023, de forma a observar o desempenho

energético da habitação em momentos climáticos distintos, principalmente observar o contraste do desempenho da habitação na estação do Inverno e Verão. O período do consumo energético da habitação vai ser observado mensalmente.

3.3.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

As propriedades dos materiais são um dos fatores cruciais para um ótimo desempenho energético. Através deles exclusivamente, sem outros métodos que melhorem o desempenho energético como por exemplo bombas de calor ou painéis fotovoltaicos, é possível conseguir ótimos desempenhos, permitindo aos possíveis utilizadores finais diminuir o consumo de energia bem como atenuar os custos na compra de energia sobre a forma de energia elétrica ou fóssil.

Para que seja possível aferir os resultados da habitação o mais próximo do real possível, é necessário implementar em software de simulação todos os dados essenciais, como é o caso dos materiais. De forma a inserir corretamente todas essas variáveis, recorreu-se à memória descritiva do edifício, bem como aos seus planos de construção. Após o levantamento de todas as características dos elementos de construção, procedeu-se à organização dos mesmos numa tabela (Tabela 7).

Tabela 7 - Características dos elementos de construção.

	.Material	Condutibilidade térmica λ (W/m°C)	Massa Volúmica aparente seca ρ (kg/m ³)	Calor específico C_p (J/kg°C)	Emissividade
1	Bloco térmico 25	0,2	1000	840	0,95
2	Tijolo 11	0,79	625	800	0,9
3	Gesso projetado	0,0018	800	1090	0,9
4	Betonilha	1	1850	850	0,85
5	Pladur	0,0021	630	1090	0,9
6	Lã de Mineral	0,00032	40	840	0,8
7	Poliestireno projetado	0,03	10	1300	0,9
8	Alumínio Compósito	0,45	1800	900	0,4
9	Flutuante. Vinílico	0,1	600	1600	0,9
10	Vidro	0,8	2500	750	0,1
11	Tijoleira porcelânica	1,2	2200	800	0,85

3.3.4 PADRÕES DE OCUPAÇÃO

Os dados de ocupação da habitação foram estimados tendo em consideração a lotação dos espaços ocupados. Para efeitos de simulação, considerou-se um agregado familiar mais comum, um casal com dois filhos. Foram considerados os valores de 80 W/pessoa de Potência térmica sensível e 40 W/pessoa de potência térmica latente. A taxa de ocupação dos espaços foi dividida área a área e é apresentada na Tabela 8, onde indica a área dos espaços, o número de pessoas que ocupam o espaço e os valores das potências térmica sensível e latente tendo em conta a ocupação.

Tabela 8 - Valores de ocupação para os vários espaços da habitação.

Zona	Designação	Área (m ²)	Nº Pessoas	Ocupação para área real m ² /pessoa	Potência térmica Sensível W	Potência térmica Latente W
z1	Sala de estar + Cozinha	25	4	6,25	320	160
z2	Quarto 1	19	2	9,5	160	80
z3	Quarto 2	15	1	15	80	40
z4	Quarto 3	16	1	16	80	40
z5	Casa de banho 1	5	2	5	80	40
z6	Casa de banho 2	6	4	6	80	40

Calculados os valores de ocupação em função da pessoa/espaço, é necessário recorrer à criação de diagramas de ocupação, de forma a aferir qual a percentagem de energia sensível e latente se “produz” em cada área. De forma a tirar um maior partido da simulação, foram criados cinco diagramas, um em função do quarto de solteiro, outro do quarto de casal, cozinha *open space* juntamente com a sala. Por fim, dividiu-se e criaram-se também dois diagramas para as duas casas de banho, uma de serviço e outra privativa do quarto de casal.

3.3.5 PADRÕES DE OCUPAÇÃO DIAS DA SEMANA

Os dois quartos de solteiro, que são ocupados, pelos filhos do casal, foi considerado o mesmo padrão para o diagrama. Para a criação de estes diagramas, foi necessário um inquérito aos habitantes do apartamento de forma entender e a quantificar as rotinas dos

utilizadores do espaço. Neste caso, como são quartos de filhos de um casal, o normal, é estes serem mais ocupados durante a hora de dormir, na hora de levantar e no final da tarde quando regressão das aulas/trabalho. O período de com menor ocupação reflete para o tempo que estes se encontram fora, nos horários de aulas ou trabalho. Os horários de ocupação foram divididos sob a seguinte forma:

- **00h00 - 06h00:** 100% de ocupação (Presença durante o sono)
- **06h00 - 08h00:** 50% de ocupação (Hora de acordar)
- **08h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Fora de casa – Aulas/Trabalho)
- **17h00 - 21h00:** 25% de ocupação (Altura de regresso a casa)
- **21h00 - 24h00:** 100% de ocupação (Utilização do quarto para lazer e preparação para descanso)

Introduzindo estes dados em um gráfico de barras obtemos o diagrama da Figura 36. Nela podemos observar que o período de maior ocupação corresponde ao tempo de dormir. Em ciclo apostado, a hora de menor ocupação corresponde ao tempo de estudo/trabalho. Este gráfico ajuda o estudo à posteriori da quantidade de energia consumida neste espaço, pois na maior parte do tempo, a taxa de ocupação reflete diretamente numa constante de proporcionalidade o consumo energético do espaço.

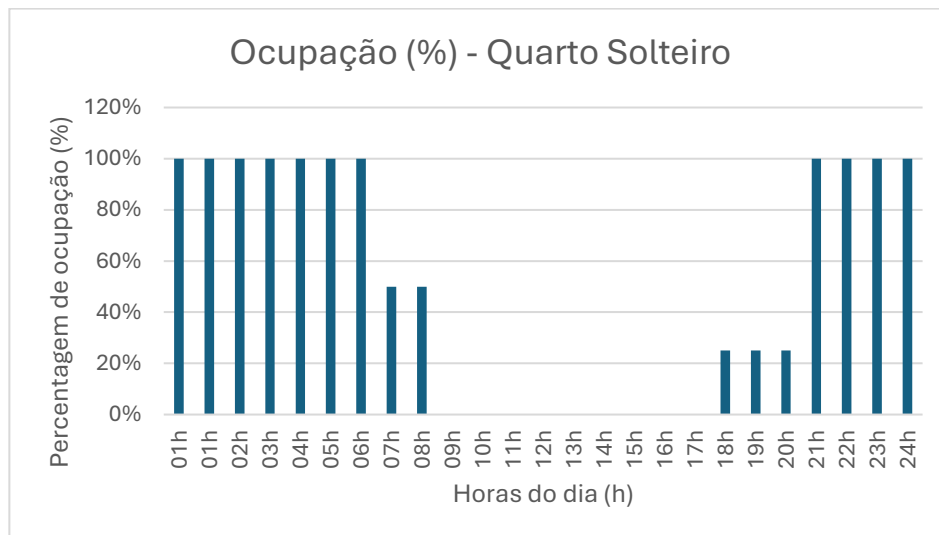


Figura 36 - Diagrama de ocupação Quarto solteiro.

Para a criação do diagrama de ocupação do quarto de casal (Figura 37) utiliza-se o mesmo método utilizado para a criação do gráfico anterior. Existe similaridade de ocupação de um caso para o outro, a única diferença cabe apenas na quantidade de potência térmica sensível e latente emitida, que nos casos de quarto de solteiro é apenas uma pessoa, ao

contrário do quarto de casal como são duas pessoas, o dobro, e por isso reflete para o dobro da emissão potência térmica.

Os dados de ocupação horária de um quarto de casal ao longo de 24 horas obtidos no inquérito são os seguintes:

- **00h00 - 07h00:** 100% de ocupação (Presença durante o sono)
- **07h00 - 08h00:** 50% de ocupação (Hora de acordar)
- **08h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Hora do trabalho)
- **17h00 - 20h00:** 25% de ocupação (Hora de regresso a casa)
- **20h00 - 23h00:** 50% de ocupação (Momento de repouso e descanso, o motivo por não ser a totalidade, é que um dos membros do casal poderá trabalhar durante a noite)
- **23h00 - 24h00:** 100% de ocupação (Preparação para dormir)

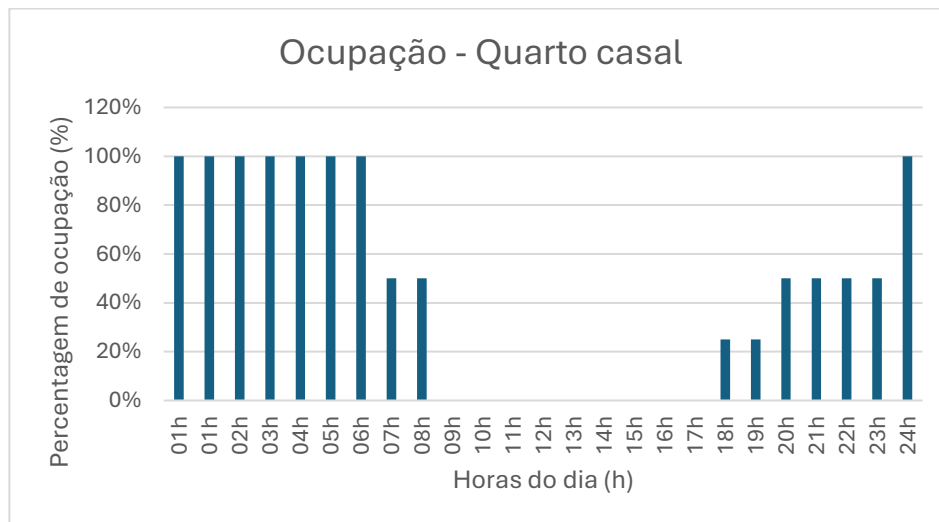


Figura 37 - Diagrama de ocupação quarto de casal.

As zonas comuns como cozinha *open space* mais sala são aquelas onde existe uma maior taxa de ocupação. Nesta zona, já é ocupada por todas as pessoas que habitam no apartamento T3, aumentando assim a emissão de calor sensível e latente. O horário de maior ocupação corrente ao final da tarde/início da noite, pois, é o horário que a família se junta após a escola/trabalho, principalmente na hora de jantar. Durante o dia, estas são as divisões que têm menor taxa de ocupação, pois não se encontra ninguém em casa nesses horários ou a ocupação poderá ser de feita de forma mais residual ou pontual o que não permite aferir a sua informação, por exemplo, algum dos elementos da família de férias ou chegar mais cedo do trabalho/aulas. Por isso, durante o período das 8h00min às 17h00min considerou-se apenas ocupação das 12h às 14h de 25%.

Os dados considerados para construir o gráfico de barras referente à ocupação desta zona comum (Figura 38) são os seguintes:

Exemplo de Ocupação Horária (Cozinha + Sala *Open Space*):

- **00h00 - 06h00:** 0% de ocupação (Habitantes em horário de descanso)
- **06h00 - 08h00:** 75% de ocupação (Preparação da refeição da manhã – Sair para trabalho/ Aulas)
- **12h00 - 14h00:** 25% de ocupação (Algum elemento poderá almoçar em casa/ presença mais pontual)
- **14h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Todos fora de casa no trabalho/escola)
- **17h00 - 19h00:** 100% de ocupação (Horário de regresso a casa, preparação do jantar, atividades em comum)
- **19h00 - 21h00:** 75% de ocupação (Hora de jantar, atividades em comum)
- **21h00 - 23h00:** 50% de ocupação (Uso esporádico da sala)
- **23h00 - 24h00:** 25% de ocupação (Uso residual antes de dormir)

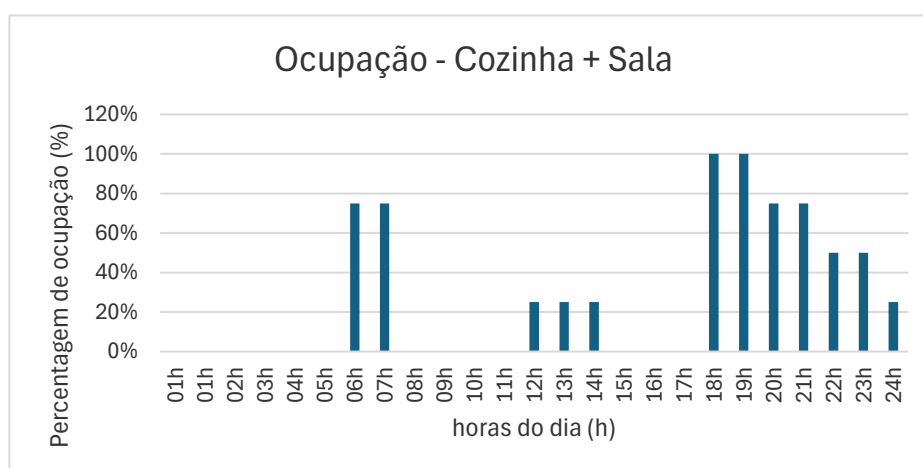


Figura 38 - Diagrama de ocupação cozinha + Sala (open space).

Em relação ao horário de ocupação das casas de banho da habitação, a sua ocupação reflete para os horários de maior ocupação da habitação. Como a habitação em estudo remete para a simulação de duas casas de banho, uma de solteiro outra de casal é possível concluir através do número de utilizadores que a casa de banho de apoio ao apartamento e também a casa banho de serviço irá ter uma maior taxa de ocupação em comparação com a casa de banho privativa do quarto de casal, pois esta poderá ser utilizada por todos

utilizadores enquanto a privada apenas é utilizada pelo casal. Os horários de ocupação para estas duas casas de banho vão ser semelhantes em termos de horários, o fator diferencial é mesmo a quantidade de ocupação em percentagem, que é maior na casa de banho serviço em comparação com a outra casa de banho.

Os horários com maior ocupação para as casas de banho serão os da manhã, que correspondem às horas de acordar e pequeno-almoço, e por fim desde o final da tarde até à hora de dormir. As restantes horas, quando os utilizadores estão a dormir ou se encontram no trabalho/escola considerou-se uma percentagem de ocupação de 0% pois, é pouco provável a sua utilização pela pessoa que habitam nessa habitação durante estes horários. Para criar um gráfico de barras de forma a ser possível inserir os diagramas no Openstudio com dados do de ocupação das duas casas de banho que constituem o edifício foram organizados a seguinte informação:

Ocupação Horária (Casa de Banho de Serviço):

- **00h00 - 06h00:** 0% de ocupação (Horário de descanso)
- **06h00 - 09h00:** 75% de ocupação (Uso pela manhã, higiene pessoal)
- **08h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Família fora de casa no trabalho/escola)
- **17h00 - 20h00:** 50% de ocupação (Uso após retorno, antes e depois do jantar)
- **20h00 - 22h00:** 25% de ocupação (Uso esporádico durante o início da noite)
- **22h00 - 24h00:** 50% de ocupação (Preparação de descanso)

Ocupação Horária (Casa de Banho do Casal):

- **00h00 - 06h00:** 0% de ocupação (Horário de descanso)
- **06h00 - 09h00:** 50% de ocupação (Uso pela manhã, higiene pessoal)
- **08h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Casal fora de casa para trabalho)
- **17h00 - 19h00:** 50% de ocupação (Uso após retorno, antes e depois do jantar)
- **19h00 - 22h00:** 25% de ocupação (Uso moderado para pequenas atividades de higiene)
- **22h00 - 23h00:** 50% de ocupação (Uso antes do horário de descanso, para tomar banho ou outras rotinas higiénicas)

- **23h00 - 24h00:** 25% de ocupação (Uso esporádico)

As figuras 39 e 40 refletem a diferença de ocupação dos dois tipos de casas de banho da habitação em estudo. A única diferença entre eles reside na ocupação no horário das 7h às 9h, por possibilidade de ser uma área ocupada por 2 ou mais pessoas enquanto a outra casa banho da habitação apenas pode ser ocupada no máximo por 2 pessoas, e também no horário das 22h às 24h, que reside na mesma justificação para o primeiro horário.

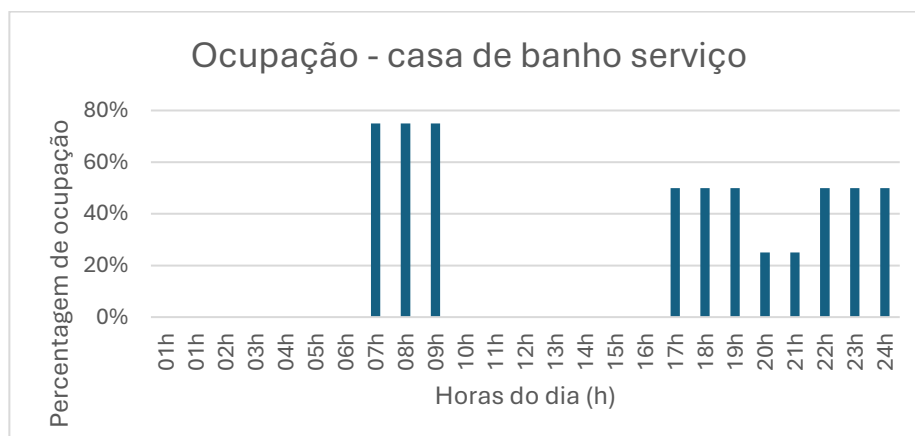


Figura 39 - Diagrama de ocupação casa de banho de serviço.

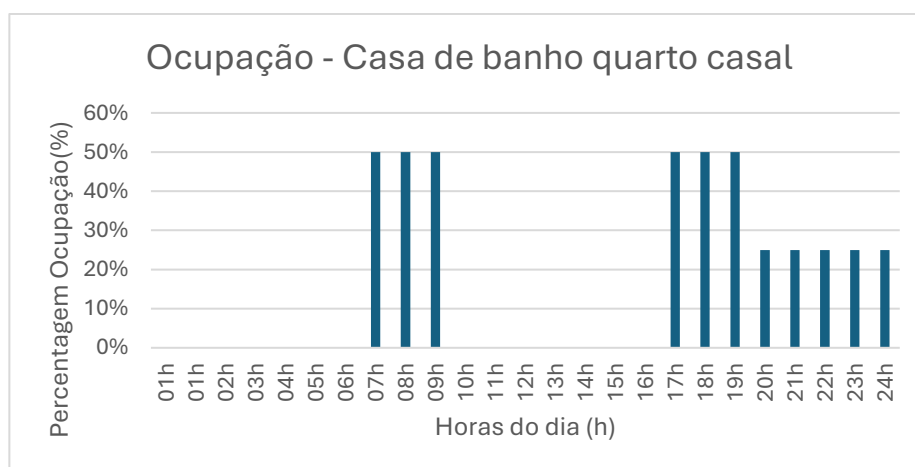


Figura 40 - Diagrama de ocupação casa de banho de casal.

3.3.6 PADRÕES DE OCUPAÇÃO FINS DE SEMANA

Os padrões de ocupação durante o fim-de-semana seguem uma tendência diferente, pois é durante estes dois dias, sábado e domingo, uma maior ocupação das áreas privadas e comuns. Para os dois quartos de solteiro, considerou-se por questões de simulação os

mesmos dados de ocupação. Os seguintes dados foram considerados para a criação de um gráfico de barras, que depois irá ser introduzido no Openstudio para simulação:

- **00h00 - 08h00:** 100% de ocupação (Horário de descanso)
- **08h00 - 10h00:** 50% de ocupação (Hora de acordar)
- **11h00 - 13h00:** 25% de ocupação (Uso ocasional para atividades ou lazer, como estudar ou jogar)
- **13h00 - 19h00:** 0% de ocupação (Elementos fora ou nas áreas comuns da casa)
- **19h00 - 20h00:** 50% de ocupação (Uso para atividades pessoais, como estudar, jogos ou leitura)
- **20h00 - 23h00:** 75% de ocupação (Tempo gasto no quarto antes de dormir)
- **23h00 - 24h00:** 100% de ocupação (Preparação para descanso)

Estes dados horários refletem uma rotina de fim-de-semana mais flexível, com maior uso das áreas comuns, durante a tarde, e o quarto durante a parte final do dia, quer para lazer ou estudo. A Figura 41 apresenta um gráfico de barras criado com os anteriores dados considerados para o quarto de solteiro. Este indica qual a curva de ocupação tem o espaço em estudo para introdução correta na simulação.

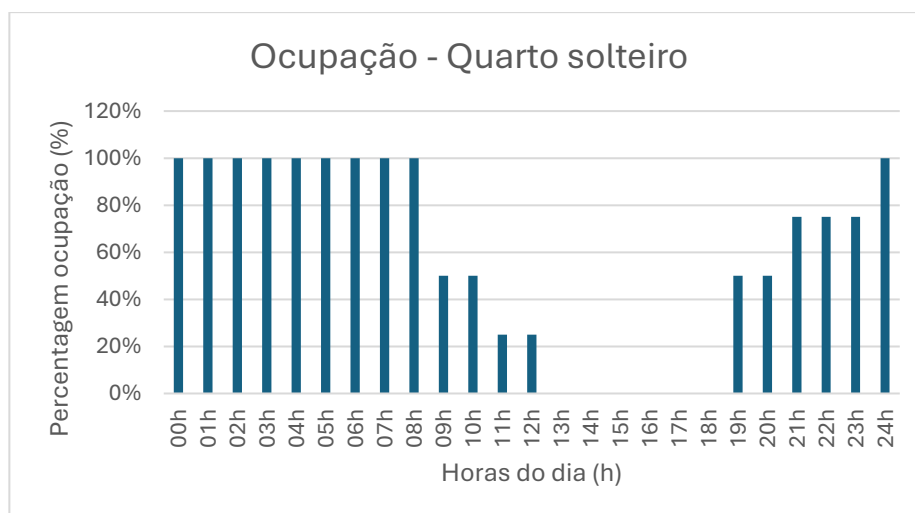


Figura 41 - Gráfico de barras ocupação quarto solteiro fim-de-semana.

O quarto de casal segue um padrão algo semelhante ao dos quartos de solteiro, ocupação máxima quando estão no horário de descanso, dormir, e durante os horários pré descanso. Durante o dia, pode-se considerar que a ocupação do quarto de casal é menor

em comparação ao de solteiro, pois, o casal são os membros da família que mais utilizam o espaço comum, normalmente cozinha e sala, enquanto, por exemplo, os filhos do casal podem utilizar os horários principalmente da noite para lazer. Os dados considerados para o quarto de casal são os seguintes:

Quarto do Casal (Fim de Semana)

- **00h00 - 08h00:** 100% de ocupação (Hora de acordar)
- **08h00 - 09h00:** 75% de ocupação (Um dos membros do casal pode levantar-se antes)
- **09h00 - 10h00:** 50% de ocupação (Uso moderado vestir e higiene)
- **11h00 - 17h00:** 0% de ocupação (Casal fora ou em outras áreas da casa)
- **17h00 - 19h00:** 25% de ocupação (Uso esporádico do quarto)
- **19h00 - 21h00:** 50% de ocupação (Uso parcial antes de dormir)
- **21h00 - 24h00:** 50% de ocupação (Preparação para descanso)

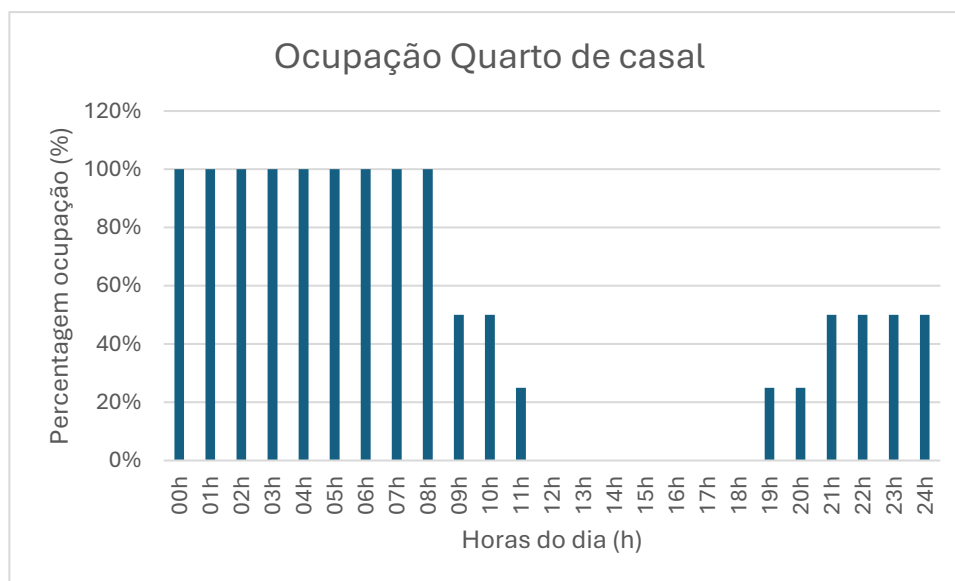


Figura 42 - Diagrama de ocupação quarto de casal fim-de-semana.

A Figura 42 mostra o gráfico de barras da ocupação do quarto de casal para a habitação T3. Em comparação com a Figura 41, é perceptível uma menor ocupação em comparação com os quartos de solteiro, pois retrata os filhos do casal em momentos e lazer, como os vídeos jogos, enquanto os seus pais utilizam mais as zonas comuns para relaxamento e lazer durante a noite e ao fim de semana.

Para a criação do modelo, o diagrama de ocupação para a cozinha e a sala de estar (*open space*), é necessário reunir dados que permitem identificar os diferentes tipos de ocupação nos vários horários ao longo do dia. É perceptível que a ocupação deste espaço será maior ao fim-de-semana em comparação aos dias da semana. Durante os dias de semana, praticamente durante a tarde não havia consumo dos seus utilizadores por estes se encontrarem fora de casa, aulas e trabalho, aos fins-de-semana passa-se o contrário, os utilizadores passam mais tempo em casa, logo o consumo durante a tarde irá existir, bem como uma maior ocupação nas horas de refeição. O horário da noite, após a refeição, também é considerado que há ocupação, pois a família poderá juntar-se neste espaço comum para partilhar momentos de lazer, como por exemplo ver televisão. Tendo em conta estas considerações, os dados recolhidos para a ocupação deste espaço são os seguintes:

Cozinha + Sala *Open Space* (Fim de Semana)

- **00h00 - 08h00:** 0% de ocupação (Elementos da habitação a dormir)
- **08h00 - 10h00:** 100% de ocupação (Preparação e pequeno-almoço da manhã em família)
- **10h00 - 13h00:** 50% de ocupação (Uso moderado durante a manhã)
- **13h00 - 15h00:** 100% de ocupação (Preparação para almoço em família)
- **15h00 - 18h00:** 50% de ocupação (Uso moderado para relaxar ou atividades de lazer)
- **18h00 - 21h00:** 100% de ocupação (Preparação de jantar)
- **21h00 - 24h00:** 75% de ocupação (Uso parcial para socializar ou assistir TV)



Figura 43 - Diagrama ocupação Cozinha + Sala open space ao fim-de-semana.

O resultado das configurações feitas originou a Figura 43. Nela podemos observar que o consumo durante o fim-de-semana é consideravelmente maior neste espaço cozinha e sala de estar *open space* que em dias da semana. Isso reflete claramente a maior presença na habitação pelos seus utilizadores, pois, como são dias de descanso, é normal estes descansarem e relaxarem na sua própria habitação.

A ocupação das casas de banho ao fim de semana vão refletir uma maior ocupação de outros espaços ao longo do dia, que por consequência aumentando a ocupação desta. O único horário que a casa de banho não terá utilização é o de descanso, 00h00 às 8h00. Como os habitantes do apartamento T3 estão mais por casa ao fim de semana, a utilização desta área comum vai ser ocupada de forma mais constante ao longo do tempo, ou seja, em termos de ocupação nunca vai passar dos 50% de ocupação, mas não vai existir nenhum horário sem ocupação. Os dados considerados para a construção do gráfico de blocos para a ocupação da casa de banho são as seguintes:

Casa de Banho de Serviço (Fim de Semana)

- **00h00 - 08h00:** 0% de ocupação (Elementos da habitação a dormir)
- **08h00 - 09h00:** 50% de ocupação (Uso matinal para higiene)
- **09h00 - 12h00:** 25% de ocupação (Uso ocasional ao longo da manhã)
- **12h00 - 18h00:** 50% de ocupação (Uso regular durante o dia)
- **18h00 - 20h00:** 50% de ocupação (Uso moderado ao final da tarde, antes do jantar)
- **20h00 - 22h00:** 25% de ocupação (Uso ocasional no início da noite)
- **22h00 - 24h00:** 25% de ocupação (Uso ocasional antes do descanso)

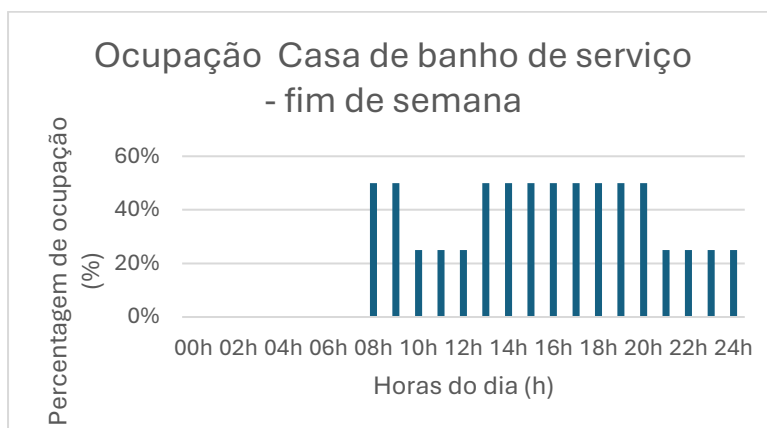


Figura 44 - Diagrama de ocupação casa de banho de serviço - fim-de-semana.

A Figura 44 mostra o gráfico de barras criado para inserção no programa Openstudio em função dos elementos considerados. O horário de maior ocupação ocorre à tarde, pois, como todos os membros ocupam mais a habitação e os seus espaços comuns, a casa de banho de serviço acaba por ser a mais utilizada, devido a ser a única a ser utilizada por toda a família. No caso de a casa de banho ser a de casal, o diagrama é muito semelhante à casa de banho de serviço, somente diminui a utilização durante a toda a tarde. Os dados considerados para a construção o gráfico de barras para a ocupação da casa de banho de casal são os seguintes:

Casa de Banho do Casal (Fim de Semana)

- **00h00 - 08h00:** 0% de ocupação (Elementos do casal a dormir)
- **08h00 - 09h00:** 50% de ocupação (Horário de acordar)
- **09h00 - 12h00:** 25% de ocupação (Uso moderado ao longo da manhã)
- **12h00 - 18h00:** 10% de ocupação (Casal fora ou em outras áreas da casa)
- **18h00 - 20h00:** 25% de ocupação (Uso esporádico final de tarde)
- **20h00 - 22h00:** 25% de ocupação (uso antes de dormir, para tomar banho e higiene pessoal)
- **22h00 - 24h00:** 25% de ocupação (uso esporádico)

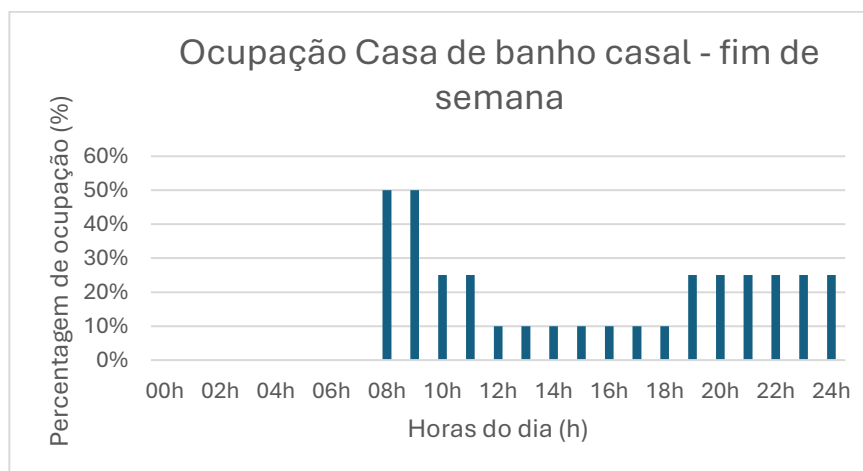


Figura 45 - Diagrama de ocupação casa de banho de casal - fim-de-semana

O gráfico de barras criado na Figura 45 retrata a curva de ocupação da casa de banho de casal. Através da comparação entre as figuras 44 e 45, é possível identificar que os momentos de ocupação são praticamente semelhantes, o que muda, é mesmo a quantidade de ocupação no horário da tarde, pois é perceptível que a de serviço numa tarde de fim-de-semana seja mais facilmente utilizada por todos os utilizadores, até mesmo aqueles que ocupam a casa banho de casal.

3.3.7 PADRÕES DE CONSUMO

O consumo elétrico da habitação depende de todos os equipamentos elétricos e circuitos de iluminação. O Openstudio, para calcular a energia consumida num espaço temporal, não só precisa desses valores de consumo de cada equipamento ou instalação de iluminação individualmente como também de diagrama de consumo diário, para que o consumo elétrico seja refletido da maneira mais real e coerente possível. Os equipamentos utilizados no apartamento em questão são os seguintes, computador *desktop*, portáteis, televisões e os eletrodomésticos de cozinha como micro-ondas, frigorífico, fogão, exaustor e placa de indução. Para implementar as características dos vários equipamentos em Openstudio, foi necessário proceder à memória descritiva do edifício para recolha dos dados. Os dados sobre os equipamentos estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Organização dados dos equipamentos.

Organização dados de Equipamentos da habitação		
Nome do Equipamento	Potência Nominal (W)	Zona alocada ao Equipamento
Computador portátil	50	Quarto 3
Exaustor	100	SalaCozinha <i>openspace</i>
Frigorífico	500	SalaCozinha <i>openspace</i>
Micro-Ondas	700	SalaCozinha <i>openspace</i>
Placa de indução	2000	SalaCozinha <i>openspace</i>
Televisão	65	Quarto 1 e SalaCozinha <i>openspace</i>
Computador Desktop	300	Quarto 2
Máquina de lavar/secar roupa	490	SalaCozinha <i>openspace</i>
Máquina de lavar loiça	800	SalaCozinha <i>openspace</i>
Forno	1200	SalaCozinha <i>openspace</i>

Em relação ao diagrama de utilização dos equipamentos, foi estabelecido, após o inquérito a um dos moradores, o mesmo método utilizado para criar os diagramas de ocupação em cada uma das áreas do edifício.

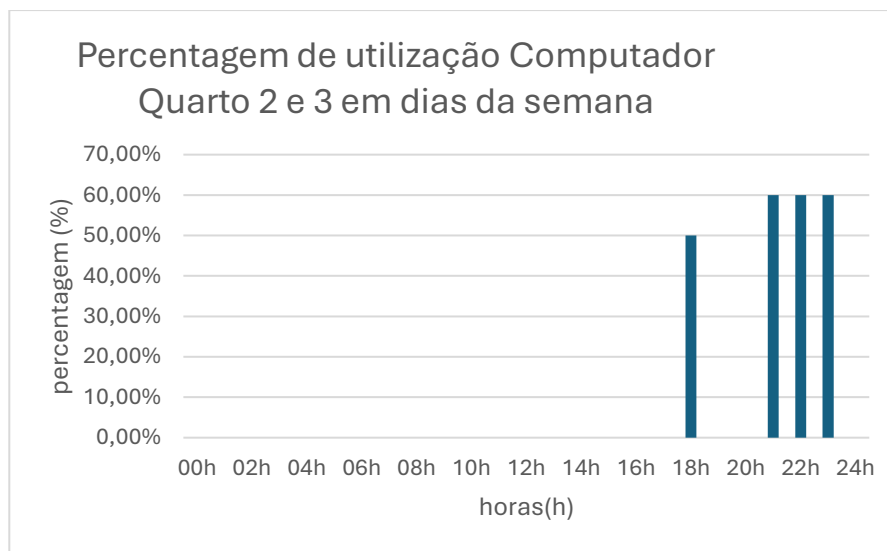


Figura 46 - Percentagem de utilização computador quarto 2 e 3 em dias da semana.

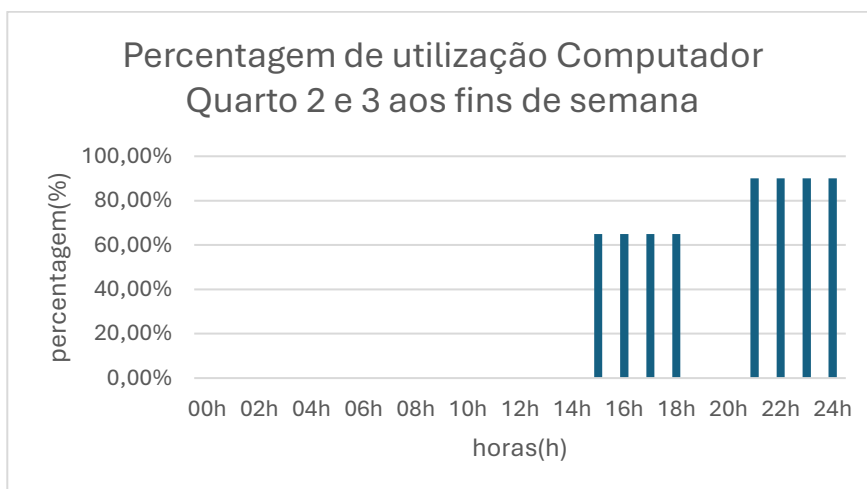


Figura 47 - Percentagem de utilização Computador Quarto 2 e 3 aos fins-de-semana

O computador portátil está alocado à zona térmica do quarto 3, a um dos filhos do casal. Normalmente é utilizado diariamente durante o período semanal após o regresso das aulas, para preparação de aulas, estudos ou períodos de lazer. Durante os fins-de-semana, a utilização do computador estende-se desde o início da tarde até ao início da noite, devido ao maior tempo na habitação e mais concretamente no quarto, como pode ser visto na comparação entre as figuras 46 e 47.

Os quartos 2 e 3 estão alocados dois computadores distintos, um computador portátil e um desktop. Como os filhos do casal têm hábitos muito idênticos em termos de horários de utilização do computador eu considereirei o mesmo diagrama de utilização para essas duas situações, diferenciando apenas a grandeza da potência em W (Watt) dos dois tipos de computadores distintos.

Considerou-se a mesma utilização do equipamento ao longo do ano igual sempre aos fins-de-semana e semana, pois não é possível considerar mudança de hábitos pontuais como férias ou a não presença em casa em certas alturas do dia. O relevante para este projeto, não é o estudo concreto dos hábitos pessoais da família, mas sim retirar o essencial dos seus costumes para que estes possam refletir num valor de consumo de energia muito próximo do real. A partir desse ponto, o objetivo fulcral é encontrar mecanismos que aproveitem o máximo de energia possível de fontes renováveis, como os painéis fotovoltaicos, de forma a permitir visualizar as diferenças de eficiência e poupança de energia de vários modelos em EMS criados para a gestão de energia da habitação. O mesmo estudo foi feito para os restantes diagramas dos vários tipos de equipamentos.

Os equipamentos de cozinha, eletrodomésticos, têm uma utilização somente em horas de refeição, tendo como maior preponderância a hora de almoço e jantar. A maior diferença entre a utilização destes equipamentos entre a semana e o fim-de-semana é retratada num maior consumo devido a uma maior utilização dos eletrodomésticos na hora de almoço. Isto acontece porque ao fim de semana a maior parte da família se encontra em casa para almoçar, o que durante a semana isso não acontece, pois, nem todos os seus membros têm disponibilidade e possibilidade de poderem estar em casa nessas alturas, seja por causa de aulas ou trabalho. E devido a esse motivo, o consumo de energia e utilização dos eletrodomésticos também irá ser menor em comparação com o fim-de-semana, como é mostrado, por exemplo para a placa de indução nas figuras 48 e 49.

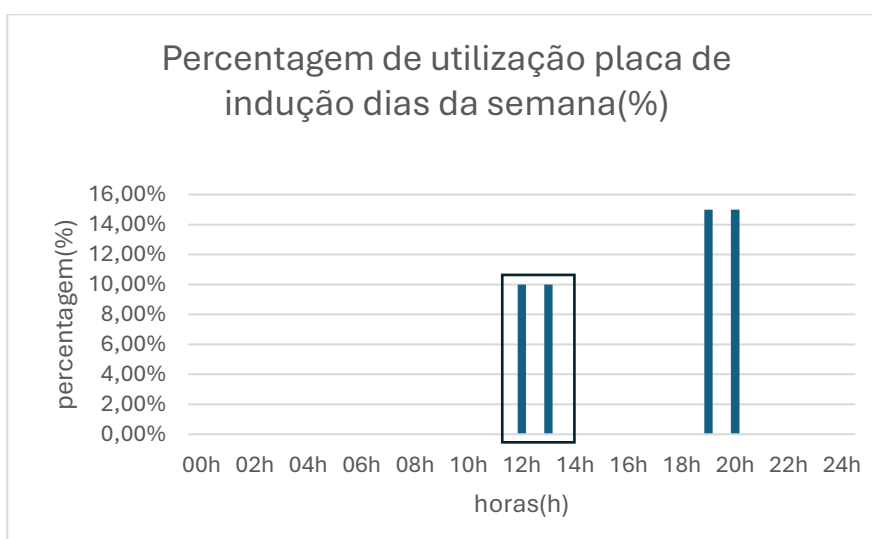


Figura 48 - Percentagem de utilização placa de indução dias da semana.

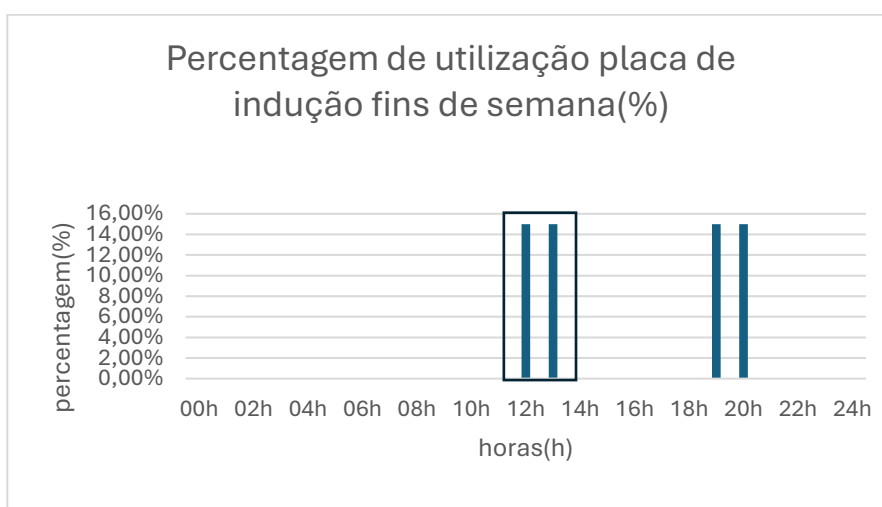


Figura 49 - Percentagem de utilização placa de indução fins-de-semana.

Todos os restantes seguem a mesma linha de raciocínio e de linearidade, à exceção do frigorífico que tem consumo contínuo muito semelhante ao longo do ano, em dias de semana e fins-de-semana. O mesmo valor em percentagem da utilização do frigorífico ao longo do dia adotado foi de cerca de 10%. Este valor foi escolhido, tendo em consideração, a avaliação dos valores de consumo médio do frigorífico no caso estudado em [27]. Para calcular essa percentagem foi necessário dividir o valor médio por dia 0,167 kWh ao valor médio consumido por ano, 1,463 kWh o que origina a percentagem diária consumida ao longo de um ano, que é de 10%. O autor em [27] tem em consideração o valor de 500W para a potência nominal do frigorífico.

Nas figuras 50 e 51 é possível observar pelos dois gráficos de barras que apresentam simultaneamente nos, apresentando o mesmo valor constante ao longo do dia para os dois casos, dias de semana e fins-de-semana.

Figura 50 - Percentagem de utilização frigorífico dias da semana.

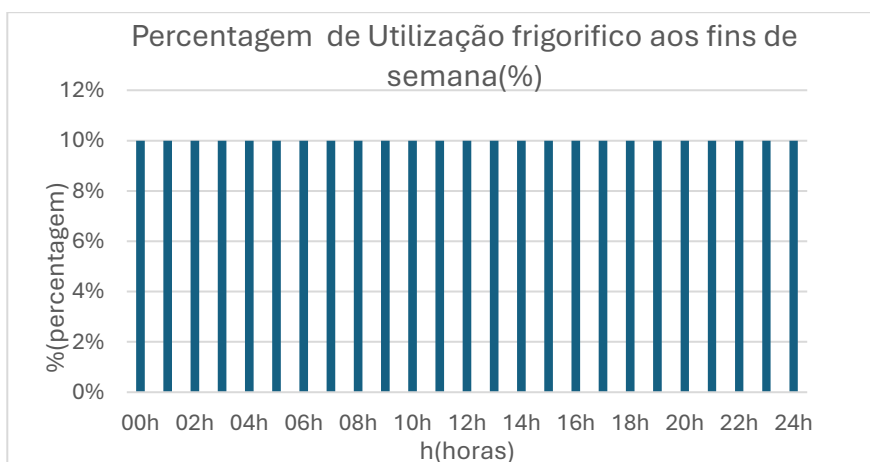
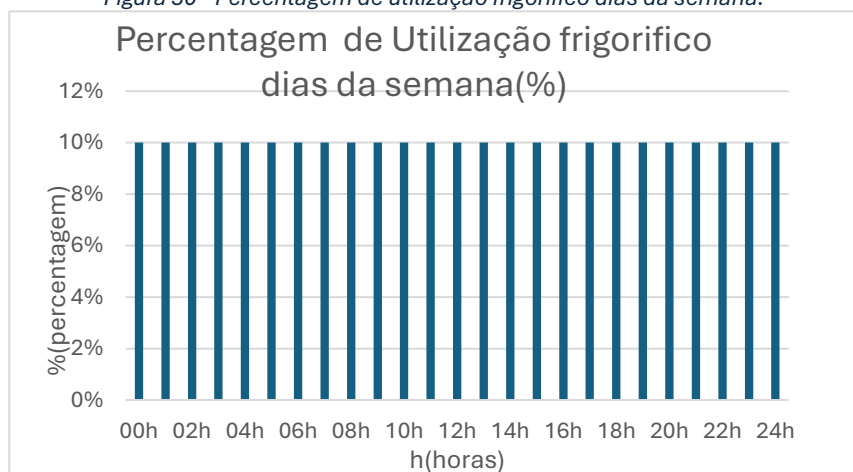


Figura 51 - Percentagem de utilização frigorífico fins-de-semana.

A televisão está alocada ao espaço comum, sala mais cozinha *open space*. Os momentos de utilização é deste equipamento estão voltados para o final do dia, onde a família se encontra reunida em horários de convívio e utilização comum desta zona térmica. Ao fim de semana, reflete-se num uso mais alargado da utilização da televisão, principalmente durante a tarde em comparação à utilização da semana. Outra diferença em relação à semana é o facto de durante o fim-de-semana poderem usufruir da televisão até um pouco mais tarde, principalmente no sábado (figuras 52 e 53).

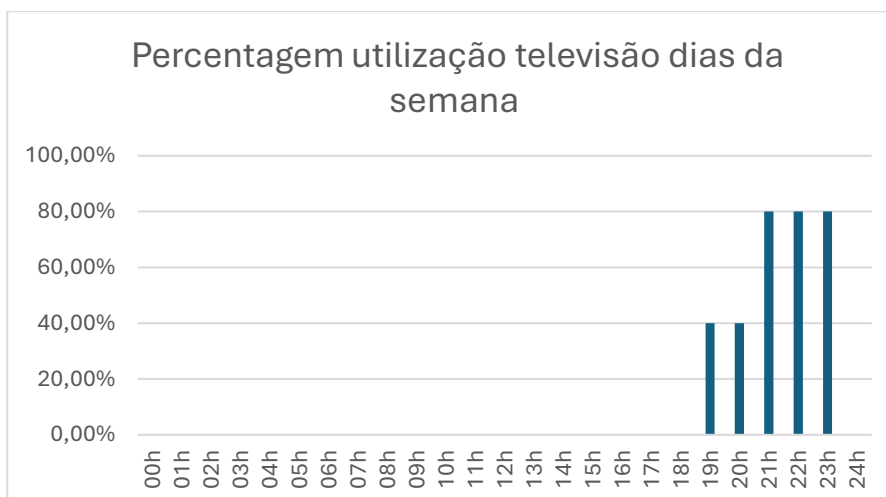


Figura 52 - Percentagem utilização televisão dias da semana.

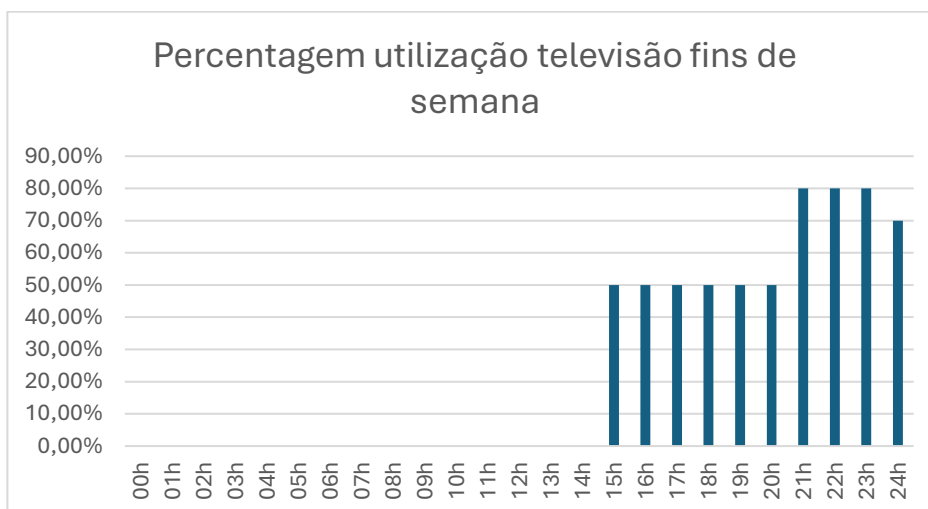


Figura 53 - Percentagem utilização televisão fins-de-semana.

A iluminação também foi contabilizada para indicativo do consumo elétrico da habitação. Considerou-se cada ponto de luz/luminária no valor de 6 W de potência nominal. Após saber a potência de cada ponto de luz, contabilizou-se o número destas por cada zona térmica. Com estes dados construiu-se a Tabela 10 para inserção no programa

Openstudio. A tabela mostra todos os dados necessários para que a simulação das luzes interiores sejam as mais corretas e parecidas do real. Através da contabilização das luminárias por zona térmica, é possível determinar a totalidade do consumo que irá ter cada área.

Tabela 10 - Tabela de organização de dados de iluminação da habitação.

Tabela de organização de dados de iluminação da habitação			
Zona térmica (z)	Número de luminárias	Potência por luminária (W)	Total de potência nominal por área (W)
Sala+Cozinha	10	6	60
Quarto 1	6	6	36
Quarto 2	6	6	36
Quarto 3	6	6	36
Casa de banho 1	3	6	18
Casa de banho 2	3	6	18

As utilizações das luzes interiores segundo as comparações feitas pelas figuras 54 e 55, refletem para a sua maior utilização, para as alturas do dia onde a ocupação da zona térmicas são mais altas.

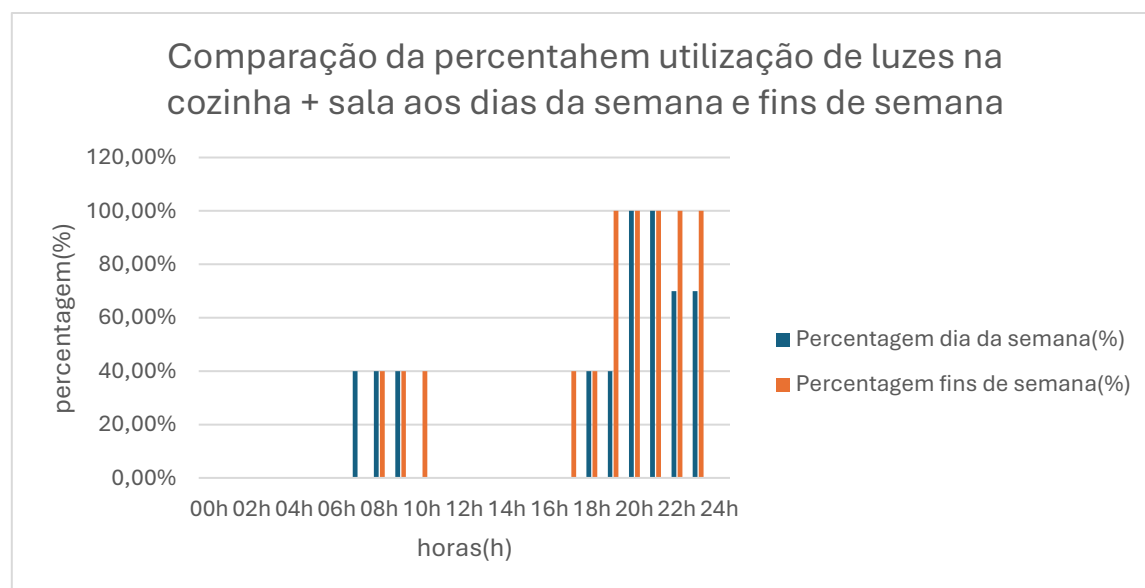


Figura 54 - Comparação utilização de luzes interiores na zona térmica Sala + Cozinha.

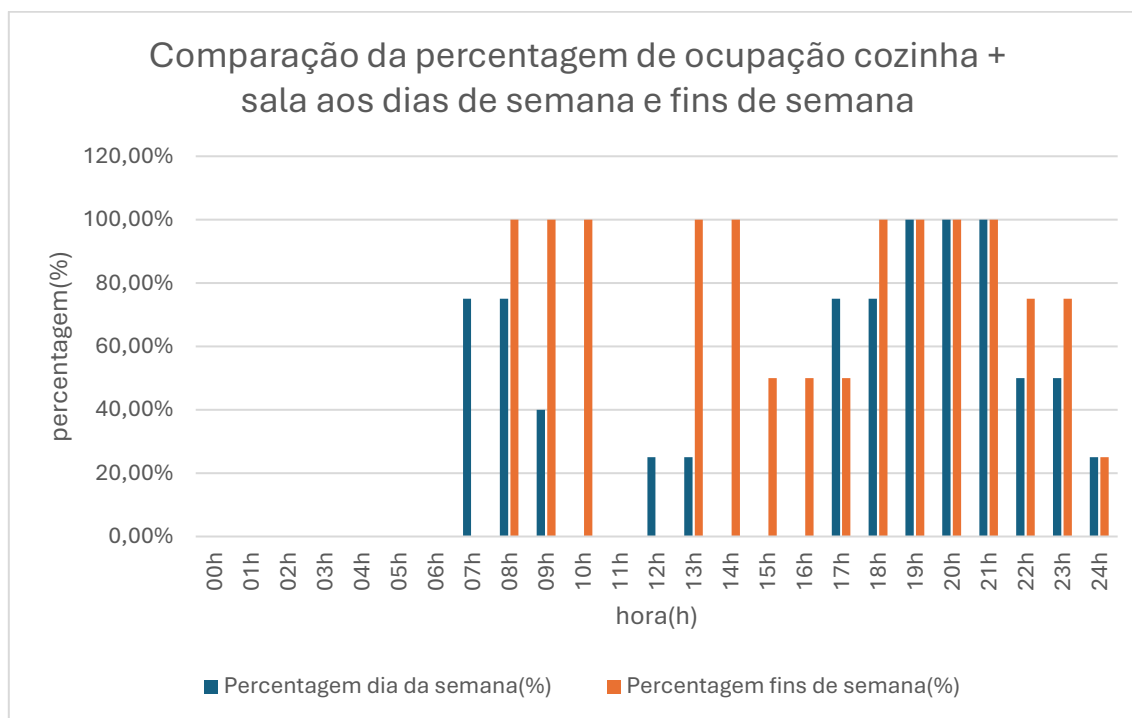


Figura 55 - Comparação da ocupação da zona térmica Cozinha + Sala.

Apesar disso, para concluir o raciocínio e explicar todas as nuances destes gráficos de barras, é necessário entender porque em alturas de ocupação não existir consumo de energia proveniente de luzes interiores. Isso de facto acontece, por serem alturas onde existe maior exposição solar do prédio onde está inserida a habitação como esta zona térmica apresenta na sua fachada a sul grandes áreas envidraçadas, o que não só permite o aquecimento da zona térmica como a penetração solar, fazendo com que o espaço seja iluminado pela luz solar. Por esse motivo, é possível desprezar a iluminação nessas alturas do dia, principalmente entre as 12h e as 17h sensivelmente. Apesar de ser um dos motivos plausíveis para que a iluminação seja desprezável aos fins-de-semana, aos dias da semana também o motivo que torne possível, que é a não presença dos habitantes do apartamento por estes se encontrarem nos costumes diários, trabalho e estudos.

O mesmo método foi aplicado para as restantes iluminações das várias zonas térmicas, tendo em conta a ocupação diária das mesmas aos dias e fins-de-semana. Depois de todos os levantamentos de definições de luzes interiores, procedeu-se à criação de todos os gráficos de barras para que estes dados sejam contabilizados na simulação do modelo em Openstudio.

3.3.8 DIMENSIONAMENTO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E BATERIA

A habitação já contempla dois painéis fotovoltaicos associados ao quadro elétrico. Cada um dos painéis tem uma capacidade de 450 W de potência, o que perfaz um valor total de 900 W de instalação total fotovoltaica. O rendimento de cada painel é de cerca de 20%. Estes foram colocados no topo do edifício, que dista da habitação numa diferença de altura de cerca 6 m.

Para o caso da bateria, ela não está associada à habitação, mas para efeitos de simulação e de estudo de eficiência energética, implementou-se uma bateria de 5 kWh de capacidade. Na simulação do primeiro modelo, estes são os fatores e dimensionamentos iniciais feitos para a simulação do edifício. Com o decorrer da simulação, como modelo finalizado para as condições iniciais, poderá ser possível estudar a capacidade do sistema de gestão de energia com o aumento do número de equipamentos de produção de energia, painéis fotovoltaicos e também com o número de equipamentos afetos ao armazenamento de energia, baterias.

3.3.9 DIMENSIONAMENTO DAS BOMBAS DE CALOR

A bomba de calor implementada na construção do edifício é uma bomba que realiza as duas funções, aquece as águas sanitárias e o aquecimento do espaço. Esta tem uma capacidade de 8 kWh e um depósito de 200 litros para aquecimento de água. A classe energética deste equipamento tem a classificação de A+ promovendo assim a eficiência energética da habitação. O *COP (Coefficient of Performance)* é de cerca de 5,4 para o aquecimento e 6 para o arrefecimento. E o que significam estes valores? Que para cada 1 kWh de eletricidade consumida, por exemplo para o aquecimento, que a bomba de calor entrega 5,4 kWh de energia térmica para aquecer o espaço.

Breve resumo do significado dos valores:

- COP de 5,4 Aquecimento: Significa que para cada 1 kWh de eletricidade consumida pela bomba de calor ela fornece 5,4 kWh para o aquecimento do espaço em energia térmica.

- COP de 6 Arrefecimento: Significa que para cada 1 kWh de eletricidade consumida pela bomba de calor ela fornece 6 kWh para o arrefecimento do espaço em remoção de calor.

Para permitir o aquecimento e o arrefecimento do espaço, a bomba de calor tem associado o piso radiante, que através do aquecimento do fluido dentro dos tubos do piso radiante, tem a capacidade de aquecer e arrefecer o espaço. Apesar de este ser o modo como se faz o aquecimento e o arrefecimento do espaço, o programa não tem a capacidade de colocar o piso radiante acoplado à bomba de calor definida, e por isso, recorreu-se aos difusores de ar. Outro dos problemas enfrentados na implementação dos dados recolhidos em Openstudio foi a implementação de uma bomba de calor que realize as duas funções. Para resolver esse contratempo, foi necessário criar uma segunda bomba de calor e dividir as funções por cada uma delas, uma realiza o aquecimento e arrefecimento do espaço, a outra fica encarregue somente de realizar o aquecimento de águas sanitárias. Ambos os equipamentos foram tendo em consideração o mesmo *COP*.

3.4 CONSTRUÇÃO DA HABITAÇÃO T3 EM SKETCHUP

O programa SketchUp é um software de criação de modelos a três dimensões que permite modelar objetos, é utilizado principalmente para criação de modelos arquitetónicos, normalmente referente a edifícios. É um dos programas mais populares para o efeito, muito devido à sua facilidade de utilização, simplicidade e à quantidade de ferramentas que esta tem embutida.

Para o desenvolvimento do projeto, recorreu-se ao programa SketchUp como a ferramenta capaz de criar e modelar o edifício, como mostra o anterior desenho da habitação T3 presente no desenho 2D representado na Figura 31. O apartamento em estudo foi criado à escala real através desse programa. No desenho, o edifício foi dividido em seis zonas térmicas, as zonas já pré-definidas durante o planeamento inicial. Como o SketchUp na sua biblioteca não contém nenhum elemento que adicione zonas térmicas aos edifícios, foi necessário proceder à criação em primeira instância de seis espaços, Figura 56, tendo em referência os espaços anteriores designados na Tabela 10.

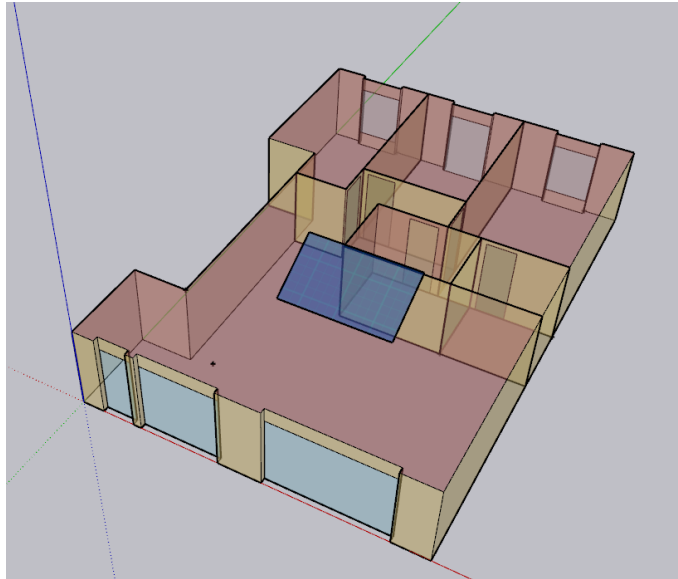


Figura 56 - Divisão da habitação em espaços.

Para permitir associar os espaços criados corretamente, foi necessário recorrer à instalação de um *plug in* do Openstudio para o SketchUp, que através da sua função de “inspetor” permitiu associar as zonas térmicas ao espaço. A Figura 57 mostra as cores diferentes as várias zonas térmicas associadas ao modelo.

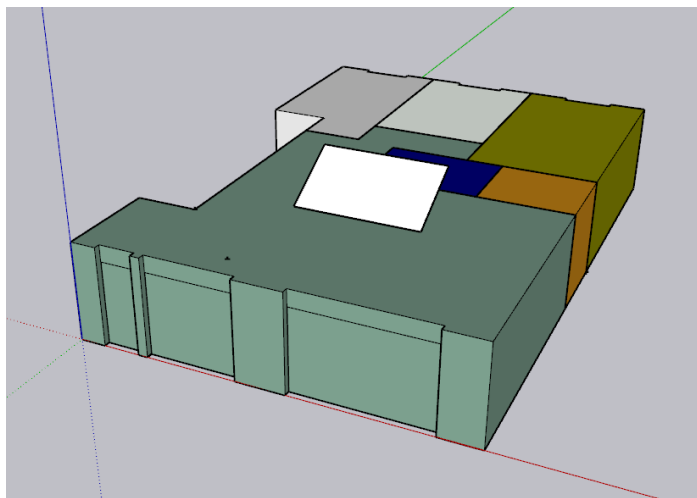


Figura 57 - Definição das zonas térmicas da habitação.

Ainda neste programa, foi possível proceder à criação dos painéis fotovoltaicos. Para isso, foi necessário a criação de uma “shading surface”, pois o Openstudio só reconhece os painéis fotovoltaicos se estes tiverem associadas a esse tipo de superfície. É um ponto que realço, pois durante a transição do modelo do SketchUp para aplicação Openstudio, os painéis fotovoltaicos criados não assumiam valor das várias variáveis dos painéis por estes não estarem associados à superfície correta. Estes foram criados em

consideração os dados reais de potência e quantidade presente na habitação em estudo. A extensão Openstudio *plug in* para o SketchUp não tem diretamente a opção de inserir a potência instalada fotovoltaica, e para isso, ele calcula a potência nominal através da área de superfície com o valor do rendimento dos painéis. Através das figuras 58 e 59, é possível observar o modelo da habitação finalizado.

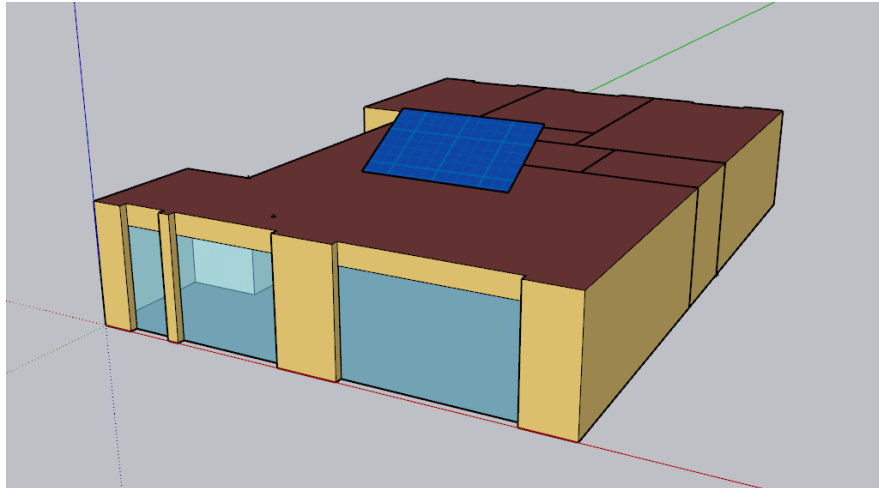


Figura 58 - Alçada frontal da habitação em 3D modelada em SketchUP.

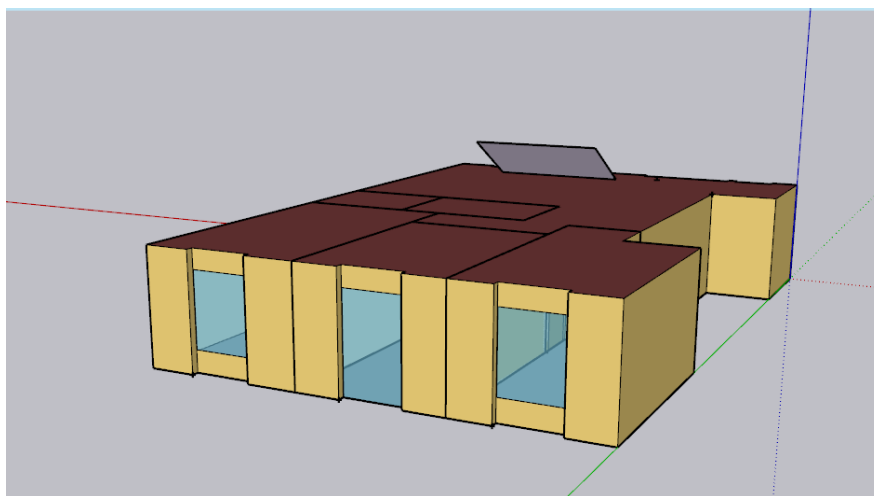


Figura 59 - Alçada traseira da habitação em 3D em SketchUP.

Nelas podemos ver as considerações feitas na colocação dos fotovoltaicos. Estes foram implementados no teto da habitação. Apesar de a habitação não ser aquela que está localizada no último andar do edifício, e ainda distando de três metros do topo do edifício, considerou-se que os painéis fotovoltaicos para efeito de simulação seriam colocados no topo dessa habitação, pois a diferença de colocação do painel somente com três metros de diferença de altura, o ganho fotovoltaico é quase insignificante.

3.5 CONSTRUÇÃO DO MODELO EM OPENSTUDIO/ENERGYPLUS

Após a fase da construção do modelo em SketCUp, foi necessário gravá-lo em modo compatível com a aplicação Openstudio com a ajuda do SketchUp Openstudio plug in.

Com o acesso ao modelo, começou a construção configuração das variáveis restantes. Os calendários de ocupação anteriormente criados foram implementados na “Aba” específica para o efeito no Openstudio que se chama “Schedules”. Aí os diagramas foram criados tendo em referência a diferenciação do consumo, ocupação e utilização e divididos em dois tipos de calendários, os dias da semana e fins-de-semana.

Já na aba seguinte, “Constructions” procedeu-se à implementação dos materiais de construção e suas características. Os valores considerados foram os presentes na Tabela 8, que representam os obtidos dos dados dos materiais junto a fornecedores dos materiais e também com a ajuda da memória descritiva do edifício.

Os equipamentos projetados para implementação no modelo Openstudio estão identificados na Tabela 10. O menu para o registo dessas variáveis é denominado “Loads”. Nelas entram as seguintes variáveis:

- People Defenitions. Esta variável indica o total número de pessoas em uma certa área;
- Lights Defenitions. Implementação da utilização de luzes de acordo com o diagrama criado na secção da recolha de dados;
- Electric Equipement Definitions. Esta secção remete para a criação dos equipamentos cada um com a sua potência nominal correspondente. Só depois na “Aba” “Space” é que se associa os diagramas de utilização dos equipamentos criados no menu Schedules.
- Water use equipment definitions. Nesta secção, foram criados os caudais de consumo em m^3/s para os equipamentos de uso de água.

Na “Aba” principal no menu “Spaces” indica todas as superfícies do modelo anteriormente criados em SeckthUp. Além disso o menu também indica um resumo de todos os consumos, diagramas, equipamentos e superfícies de sombreamento. Também é neste menu que se faz a associação dos vários diagramas aos espaços, como por exemplo, para o eletrodoméstico frigorífico, é necessário associar ao espaço da cozinha mais sala *open space*, e depois associar o consumo nominal do eletrodoméstico e também os seus

calendários de utilização. Um dos pontos cruciais que este menu fornece, é ajustar e definir qual a vizinhança e a fronteira entre as superfícies, ou seja, permite indicar os quais superfícies fazem fronteira com o exterior, e as que fazem fronteira interior indicar com que zonas elas permutam energia e massa entre si. As superfícies que fazem fronteiras com as paredes do outro apartamento foram consideradas adiabáticas pois considerou-se a troca de energia e de matéria entre apartamentos nula.

O menu “HVAC Systems” do Openstudio é aquele que cria e relaciona a bomba de calor ou outros sistemas de climatização com o espaço. Nesta secção foram criadas duas bombas de calor, uma para climatização de todas as zonas térmicas, Figura 60, e aquecimento de águas sanitárias, Figura 61. Foram criados termostatos para recolher a temperatura individual de cada espaço.

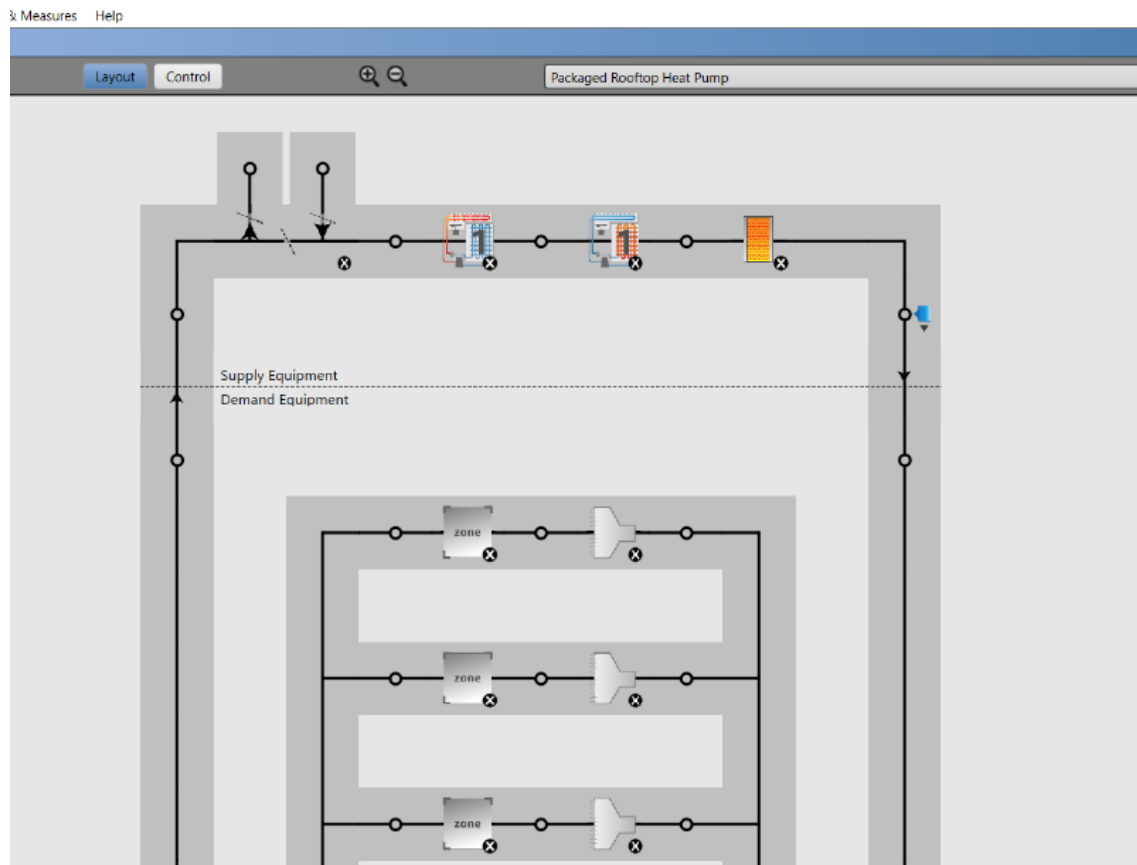


Figura 60 - Bomba de calor para climatização criada em Openstudio.

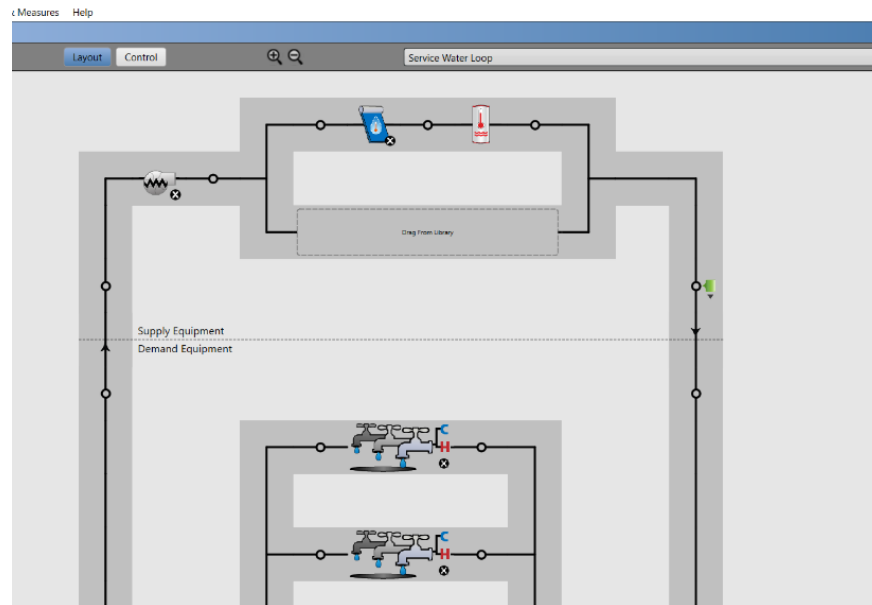


Figura 61 - Criação da bomba de calor para aquecimento de águas sanitárias.

Os espaços vão ser climatizados de forma individual, priorizando o aquecimento e arrefecimento das zonas térmicas na seguinte ordem, cozinha e sala Openspace, Quarto 1, Quarto 2, Quarto 3, Casa de banho 1 e Casa de banho 2. Os *setpoints* alvos de temperatura para cada zona térmica é de 22°C para a temperatura de conforto, 20°C para a temperatura mínima limite e 24°C para a temperatura máxima. Em relação à bomba de calor AQS, os *setpoint's* de aquecimento de água é de 45°C do horário de menor necessidade de água quente, ou seja, das 22h às 6h da manhã, e 55°C para o horário de maior probabilidade de necessidade de aquecimento de água. Para armazenamento de águas sanitárias, considerou-se um depósito de 200 litros acoplado à bomba de calor AQS. Por questões de simulação, e como a bomba de calor projetada para o edifício as duas funções, climatização e aquecimento de águas sanitárias e o programa não consegue acoplar as duas funções em apenas uma máquina, foi necessário a criação de duas, a bomba de calor para aquecimento de águas com metade da potência nominal, 4 kW, da bomba de aquecimento, 8 kW.

3.5.1 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EMS

O principal objetivo da simulação do edifício é testar o sistema teórico anteriormente pensado e planeado para o desenvolvimento deste projeto. Com o estudo dos vários artigos mencionados na revisão da literatura, revelaram em que pontos do sistema de gestão de energia a estudar se enquadra. O sistema EMS desenvolvido está

dividido em três estratégias, gestão e controlo, otimização e monitorização. Duas destas três mencionadas fazem parte das que apresentam um maior índice de performance ao nível de gestão de energia, e também segundo [21] um dos artigos mencionados neste documento são duas das mais usadas em sistemas EMS.

Servindo como fase as funções já mencionadas no sistema de gestão de energia, na função de monitorização, serão criados sensores para que seja recolhidos os dados necessários. Isto permite que o sistema tome medidas e ações com o objetivo controlar todo o sistema de acordo com as necessidades e condições energéticas desejadas, tornando possível a otimização no caminho da procura de uma maior eficiência energética. Na fase de controlo e gestão, os vários equipamentos são capazes de tomar as decisões necessárias através de atuadores embutidos pelos próprios equipamentos, no qual recebem a ordem pelo dispositivo “Master” na linha MODBUS. A otimização é a última fase de todo este processo, e somente após as anteriores funções estarem corretamente aplicadas no sistema EMS. Esta também é fase mais complexa de todo o processo, pois é preciso entender como otimizar várias variáveis e como elas se podem relacionar tornando o sistema mais simples e eficiente.

3.5.2 CRIAÇÃO DE SENSORES PARA O SISTEMA EMS

Após implementação de todos os dados necessários para a simulação do modelo, diagramas de consumo e ocupação, características dos materiais, implementação dos painéis fotovoltaicos, bomba de calor e bateria procedeu-se à criação do sistema EMS tendo em consideração o fluxograma apresentado na Figura 32. O desenvolvimento foi realizado através do recurso de programação em linguagem Ruby. Através da programação, criaram-se os sensores, como representados na Figura 62. Esta figura mostra como é feita a criação de sensores, para o caso em concreto observado, representa um dos sensores que mede o estado da bateria e o segundo mede a quantidade de energia fotovoltaica produzida pelos painéis.

```
261 # Criar o sensor EMS para capturar a produção de energia do painel fotovoltaico
262 sensor_fotovoltaico = OpenStudio::Model::EnergyManagementSystemSensor.new(model, "Generator Produced DC Electricity Energy")
263 sensor_fotovoltaico.setName("SensorFotovoltaico")
264 sensor_fotovoltaico.setKeyName("Generator Photovoltaic 1") # Nome do gerador fotovoltaico específico
265
266 # Criar um sensor EMS para a bateria rate
267 sensor_var_batrate = OpenStudio::Model::EnergyManagementSystemSensor.new(model, "Electric Storage Simple Charge State")
268 sensor_var_batrate.setName("ChargeState")
269 sensor_var_batrate.setKeyName("Electric Load Center Storage Simple 1")
270
```

Figura 62 - Exemplo da criação de um sensor EMS em Ruby.

Os sensores necessários para que o sistema de gestão de energia possa observar os dados de forma a tomar decisões são os seguintes:

- Sensor de temperatura por cada zona térmica são estes os sensores que o “Master” do protocolo, vai recolher para comandar aquando da bomba de calor terá de ligar para efetuar aquecimento e arrefecimento;
- Sensor de monitorização de produção fotovoltaica. Com este sensor o sistema de gestão de energia conhece quando existe produção fotovoltaica, para depois compará-lo com a energia que a habitação consome da rede, de forma que o sistema saiba também quando existe excesso de produção;
- Sensor de estado da bateria, este sensor indica qual o estado atual da bateria se ela se encontra a carregar ou a descarregar;
- Sensor de carga da bateria indica capacidade da bateria e qual a quantidade de energia disponível esta tem.

3.5.3 CRIAÇÃO DE ATUADORES PARA O SISTEMA EMS

Nos vários equipamentos, que constituem o sistema de energia, foi necessário proceder à criação de atuadores, para que a bomba de calor realize climatização do espaço, o aquecimento de águas sanitárias e, por fim, permita descarregar e carregar para a bateria consoante as necessidades. A Figura 63 representa dois tipos de atuadores criados em programação Ruby para ligar à bateria criada no modelo. Nela podemos ver que os atuadores servem como comando para o sistema de gestão de energia atuar na carga ou descarga da bateria.

```
532   atuador_bateria_carga = OpenStudio::Model::EnergyManagementSystemActuator.new(  
533     electric_load_center,  
534     "Electrical Storage",  
535     "Power Charge Rate"  
536   )  
537   atuador_bateria_carga.setName("ControloCargaBateria")  
538  
539   # Criar o atuador para controlar a descarga da bateria  
540   actuator_bateria_descarga = OpenStudio::Model::EnergyManagementSystemActuator.new(  
541     electric_load_center,      # Objeto de componente do modelo  
542     "Electrical Storage",     # Tipo do atuador (conforme .edd)  
543     "Power Draw Rate"        # Controle válido listado no .edd  
544   )  
545   actuator_bateria_descarga.setName("ControloDescargabateria")
```

Figura 63 - Criação de um atuador EMS em Ruby.

Os atuadores necessários para que o sistema EMS atue no controlo dos vários equipamentos são os seguintes:

- Atuadores para a bomba de calor. Estes atuadores servem para comandar a bomba na função de aquecimento ou arrefecimento;
- Atuadores para a bateria. Para que seja possível utilizar e a comandar a energia da bateria, é necessário criar atuadores que permitam descarregar e carregar a bateria;
- Atuadores para comando da bomba de calor para aquecimento de águas sanitárias. Para esta função é necessário criar um atuador para aquecer as águas sanitárias assim que houver necessidade que seja comando pelo sistema de gestão de energia.

3.5.4 DESENVOLVIMENTO DA LÓGICA EMS

Finalizado a fase de criação dos sensores e atuadores necessários procedeu-se à construção da lógica EMS. A base da criação da lógica tem como base o fluxograma criado na Figura 32. Durante o desenvolvimento da programação, o a lógica planeada para o projeto foi sofrendo algumas alterações bem como também foram acrescentadas novas variáveis, o código final é possível ser observado no Anexo deste documento.

Uma das alterações feitas com a implementação do código diz respeito ao modo de funcionamento da bateria. O planeamento da bateria em EMS no fluxograma inicial carregava apenas após se as condições de climatização e águas sanitárias estivessem satisfeitas. Isso manteve-se, mas o que mudou diz respeito ao modo como a energia da bateria é depois usada. No primeiro planeamento, a bateria funcionaria assim que a energia fosse superior a 20%, mas não considera o estado de energia, nem o quanto de energia é superior a 20% para começar a descarga. O que acontecia no código com o

dimensionamento inicial é que quando a bateria fosse superior aos 20%, o que acontecia é que energia fosse 1% a mais dos 20% a bateria fornecia energia à habitação, porque na lógica a bateria só funcionava se estivesse energia maior que 20% e parava de funcionar assim que a energia da bateria fosse igual ou inferior a 20%, tornando assim o sistema redundante e inutilizava a capacidade total da bateria. Para isso, ajustou-se o código, apenas mudando a forma como ela “envia” energia à habitação, impondo que ela só forneça energia assim que chegar à totalidade da sua capacidade. Assim que chegar ao seu máximo, a bateria começa a descarregar energia ao apartamento T3, até esta chegar ao limite de 20% no qual o sistema de energia deixa de alimentar a habitação com a ajuda da bateria.

Outra das alterações realizadas em comparação inicial está relacionado como o sistema EMS faz a verificação da energia excedente para ativação da bomba de calor. Inicialmente, as bombas de calor ativavam assim que o excedente de produção a bomba de calor ativava. Esse excesso de produção é calculado através da subtração da energia fotovoltaica produzida com a energia real consumida para a habitação. O que acontecia é que a bomba ativava com um excesso de produção próximo de zero ou com um valor residual ligando a bomba de calor um maior número de vezes levando assim a consumir mais energia da rede que o projetado visto que, quando situações dessas aconteciam ao longo do dia os painéis fotovoltaicos não ajudavam a cobrir as necessidades o que levava a um maior desperdício de energia. Para solucionar este problema, foi necessário indicar mais uma variável de leitura para que o sistema EMS conseguisse ultrapassar situações redundantes. A nova variável de leitura passou não só a ler o excesso de produção, mas também a quantificar quanto é o excesso de produção e indicando que a bomba de calor liga apenas quando os painéis fotovoltaicos estiverem a produzir mais de 500 W. Esta situação leva a um maior aproveitamento da energia fotovoltaica, direcionando sempre o excesso de produção para consumo interno, quer seja para climatização da habitação ou aquecimento de águas quentes sanitárias.

Após um estudo aprofundado sobre o funcionamento das bombas de calor constatou-se que era necessário garantir uma vez por semana na lógica EMS a função anti-Legionella. Este processo consiste em elevar a temperatura da água a 70°C durante um certo período, pois a bactéria da Legionella desenvolve-se em águas com temperaturas entre os 25°C a 45°C. O processo irá ser realizado periodicamente em todos os domingos e todas as semanas do ano. Este ciclo garante que a água é desinfetada, eliminando assim qualquer risco de contaminação.

A Figura 71 (na secção 3.5.6) mostra o novo fluxograma tendo em considerações todas as mudanças necessárias realizadas ao sistema EMS. A partir desse novo fluxograma, permitiu correr o modelo Openstudio para a obtenção dos resultados. Estes foram simulados em Openstudio, mas os resultados foram obtidos através da máquina de cálculo do EnergyPlus.

3.5.5 PROGRAMA EMS

O programa EMS está dividido em três partes diferentes. A primeira é a criação da chamada do programa pelo sistema de gestão de energia. Nela estão inseridos dados gerais como por exemplo o nome e as várias considerações iniciais, como é possível observar através da Figura 64.

```
EnergyManagementSystem:Program,
  Programa_Controle_Termico,           !- Name
  SET MODO_ATIVO = 0,                 !- Program Line 1
  SET TotalEquipamento = Frigorifico_Sensor + Computador_portatil_Sensor + MircroOndas_Sensor + Exaustor_Sensor + Placa_Inducao_Sensor +
  SENSOR_TELEVISAO_QUARTO_1, !- Program Line 2
  SET TotalLuzes = Sensor_Luz + Sensor_Luz_1 + Sensor_Luz_2 + Sensor_Luz_3 + Sensor_Luz_4, !- Program Line 3
  SET TotalEnergiaRede = TotalEquipamento + TotalLuzes, !- Program Line 4
  SET ExcessoEnergia = SensorFotovoltaico - SensorConsumoedificio, !- Program Line 5
```

Figura 64 - Considerações iniciais programa EMS.

A segunda etapa está relacionada com o corpo da programação. Nela estão inseridas as primeiras tomadas de decisão do programa juntamente com as verificações realizadas. Na Figura 65, está representado uma parte do código que permite verificar e atuar a bomba de calor para o aquecimento e arrefecimento do espaço.

```
IF SalaCozinha >= 21 AND SalaCozinha <= 23, !- Program Line 14
  SET MODO_ATIVO = 0, !- Program Line 15
ELSE, !- Program Line 16
  IF SalaCozinha >= 24, !- Program Line 17
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint1 = 20, !- Program Line 18
  SET Atuador_Resfriamento_Setpoint1 = 22, !- Program Line 19
  SET MODO_ATIVO = 2, !- Program Line 20
  ENDIF, !- Program Line 21
  IF SalaCozinha <= 20, !- Program Line 22
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint1 = 22, !- Program Line 23
  SET Atuador_Resfriamento_Setpoint1 = 26, !- Program Line 24
  SET MODO_ATIVO = 1, !- Program Line 25
  ENDIF, !- Program Line 26
  ENDIF, !- Program Line 27
```

Figura 65 - Corpo de programação do sistema EMS para bomba de calor de climatização.

Na primeira linha, o programa faz a verificação do excesso de energia fotovoltaico através da comparação dos vários sensores implementados para o efeito, é o resultado da subtração do total de energia produzida fotovoltaica com a energia consumida pela

habitação. Se este for superior a 500 W e a temperatura do termostato para a zona térmica da Sala mais cozinha *open space* for superior a 24°C arrefece o espaço até atingir a temperatura alvo de 22°C, caso a temperatura seja inferior a 20°C o sistema de aquecimento atua de forma a aquecer o espaço para a temperatura alvo, 22°C.

A secção da programação da bomba de calor para aquecimento de águas sanitárias é idêntica à da bomba de calor usada para a climatização do espaço. O programa EMS para o controlo da bomba AQS, verifica se existe excesso de produção fotovoltaica acima dos 500 W. Mas para que a bomba acione o aquecimento das águas tem que verificar a temperatura da água no depósito através de um termostato. Caso esta esteja superior igual ou superior a 45°C ela passa automaticamente para a verificação dos sensores de temperatura por zonas térmicas para ver a necessidade de arrefecer ou aquecer o espaço. Caso a temperatura seja menor que 40°C e existir o excesso de produção mínimo desejado, a bomba de calor liga para aquecer a água té aos 55°C, *setpoint* definido nos calendários, como é observável através da Figura 66.

```
IF ExcessoEnergia > 500,           !- Program Line 6
IF AQSstanquetemperatura < 40.0,  !- Program Line 7
SET AjusteTemperaturaSaidaTanque = 55, !- Program Line 8
ENDIF,                             !- Program Line 9
IF AQSstanquetemperatura >= 55.0,  !- Program Line 10
SET AjusteTemperaturaSaidaTanque = 0, !- Program Line 11
ENDIF,                             !- Program Line 12
```

Figura 66 - Corpo de programação do sistema EMS para bomba de calor AQS.

Apenas num dos dias por semana, já definido na criação da bomba de calor, explicação realizada na secção 6.1.8 deste relatório, esta irá trabalhar de forma continua durante um certo período de tempo a uma temperatura de 70°C aproveitando na mesma a energia excedente, de forma a eliminar o risco de uma infeção de Legionella nas águas sanitárias. Essa parte não foi programável através de código Ruby, mas sim através de um calendário de *setpoint* de temperatura, pois o programa EMS desenvolvido não tem uma opção de selecionar dias específicos para dois tipos de configuração de gestão de energia. Como é somente um dia da semana a bomba de calor fá-lo-á automaticamente da mesma forma que estas fazem esse controlo de fábrica. O programa EMS para o aquecimento de águas sanitárias também funcionará para o dia que a bomba de calor elevar a temperatura de maneira a eliminar a possibilidade de Legionella nas águas do depósito da bomba. O que acontece, somente uma vez por semana, a bomba tem um *setpoint* máximo maior que os restantes dias, passando de 55°C para 70°C.

Ainda dentro da segunda etapa, também foi criada uma programação para carregar e descarregar a carga da bateria. A Figura 67 representa as condições iniciais para o funcionamento do sistema EMS com a utilização da bateria. A capacidade da bateria é medida através da unidade J (Joule) em Openstudio, e por isso, o valor da variável CapacidadeBateria seja 18000000 J que equivale a 5 kWh. Já a variável LimiteMinimoBateria indica o valor limite mínimo para o descarregar da bateria, ou seja, 20% do valor da capacidade máxima da bateria, 3600000 J. Também foi necessário definir mais duas variáveis necessárias para o funcionamento do sistema, como, “Chargestate” que indica quando a bateria está ou não a ser carregada, que no caso inicial da simulação do programa EMS a bateria não se encontra a carregar. A outra variável é a Energiaparacarregar, esta indica o valor 0, pois inicialmente, assim que o programa de gestão de energia entre em funcionamento a energia necessária para carregar as baterias é 0, pois em primeira instância a energia excedente dos fotovoltaica é verificada e usada primeira mente se necessário nas bombas de calor AQS e Climatização, e só depois é que a temperatura das águas sanitárias e das zonas térmicas estarem satisfeitas é que o controlo da bateria para carregamento com a energia excedente é realizado.

```
SET CapacidadeBateria = 18000000.0,      !- Program Line 99
SET LimiteMinimoBateria = 3600000.0,     !- Program Line 100
SET EficiênciaCarregamento = 0.8,       !- Program Line 101
SET EficiênciaDescarregamento = 0.9,    !- Program Line 102
SET CHARGESTATE = 0,                    !- Program Line 103
SET ENERGIANECESSARIADAREDE = 0,        !- Program Line 104
SET ENERGIAPARACARREGAR = 0.0,         !- Program Line 105
```

Figura 67 - Considerações iniciais para o armazenamento de energia em EMS.

De forma a aproveitar a energia armazenada na bateria, esta descarrega assim que atingir 100% de carga, e fá-lo diretamente na habitação, diminuindo a necessidade de utilização da energia da rede. A Figura 68, apresenta a segunda parte do código referida para a bateria. As linhas de código presentes nessa figura indicam a verificação para averiguar se a energia fotovoltaica é suficiente para carregar as baterias. Se a energia for suficiente para carregar a bateria, esta ajusta à sua necessidade e capacidade de carga.

```

SET ENERGIAPARACARREGAR = EnergiaFotovoltaica, !- Program Line 109
ENDIF, !- Program Line 110
IF ENERGIAPARACARREGAR > 0, !- Program Line 111
SET ControloCargabateria = 0, !- Program Line 112
ENDIF, !- Program Line 113
SET ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR = 0.0, !- Program Line 114
SET ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR = CapacidadeBateria - ChargeState, !- Program Line 115
IF ENERGIAFOTOVOLTAICA > ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR, !- Program Line 116
SET ENERGIAPARACARREGAR = ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR, !- Program Line 117
ELSE, !- Program Line 118
SET ENERGIAPARACARREGAR = ENERGIAFOTOVOLTAICA, !- Program Line 119
ENDIF, !- Program Line 120

```

Figura 68 - Controlo de carga da bateria em EMS.

De forma a integrar a bateria na habitação o código apresentado na Figura 69 indica a que o programa verifica se a energia fotovoltaica é suficiente para fornecer à habitação. Caso não seja, como é o caso, a bateria irá descarregar energia até chegar ao limite de 20%, ajudando o edifício a poupar energia consumida da rede elétrica. Na linha 125 do programa EMS corresponde à variável que não permite que o consumo da bateria nunca baixe dos 3600000 J que foi os 20% do valor de carga total definido nas variáveis iniciais. Um exemplo prático, se o ChargeState, que indica o estado da carga da bateria, for de 60% com a subtração da variável LimiteMinimoBateria, que é sempre 20%, então a energia utilizada vai ser de 40% na variável EnergiaBateriaUsada. Isto garante a integridade e aumenta o tempo de vida da bateria.

```

SET ChargeState = SensorFotovoltaico, !- Program Line 121
SET EnergiaFotovoltaica = SensorFotovoltaico, !- Program Line 122
IF EnergiaFotovoltaica == 0, !- Program Line 123
SET EnergiaBateriaUsada = ChargeState - LimiteMinimoBateria, !- Program Line 124
IF EnergiaBateriaUsada > TotalEnergiaRede, !- Program Line 125
SET EnergiaBateriaUsada = TotalEnergiaRede, !- Program Line 126
ENDIF, !- Program Line 127
SET ChargeState = ChargeState - EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 128
ENDIF, !- Program Line 129
SET EnergiaNecessariaDaRede = TotalEnergiaRede - EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 130
SET EnergiaRedeUsada = EnergiaNecessariaDaRede, !- Program Line 131
IF EnergiaFotovoltaica < TotalEnergiaRede, !- Program Line 132
SET EnergiaBateriaUsada = ChargeState - LimiteMinimoBateria, !- Program Line 133
IF EnergiaBateriaUsada > TotalEnergiaRede, !- Program Line 134
SET EnergiaBateriaUsada = TotalEnergiaRede, !- Program Line 135
ENDIF, !- Program Line 136

```

Figura 69 - Controlo de descarga da bateria em EMS.

Para finalizar o código do sistema de gestão de energia é necessário que este garanta que priorize a energia solar para carregamento da energia, sempre que houver excesso de energia e o conforto de águas sanitárias e climatização das bombas de calor estejam satisfeitas. Ainda, foi implementado nesta parte do código a necessidade de quando a bateria não tem capacidade suficiente retirar o restante da energia da rede. Este tipo de configuração melhora a eficiência energética e também reduz a necessidade do uso da energia da rede. Na Figura 70, estão representados os momentos em que existe a atuação

para carregamento ou descarregamento da bateria, com ajuda das verificações anteriores, figuras 67, 68 e 69.

```
SET ChargeState = ChargeState - EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 137
ENDIF, !- Program Line 138
IF ChargeState < LimiteMinimoBateria, !- Program Line 139
SET EnergiaNecessariaDaRede = TotalEnergiaRede - EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 140
SET EnergiaRedeUsada = EnergiaNecessariaDaRede, !- Program Line 141
ENDIF, !- Program Line 142
IF EnergiaParaCarregar > 0, !- Program Line 143
SET ControloCargabateria = 0, !- Program Line 144
ENDIF, !- Program Line 145
IF EnergiaBateriaUsada > 0, !- Program Line 146
SET ControloCargabateria = EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 147
ENDIF, !- Program Line 148
IF EnergiaRedeUsada > 0, !- Program Line 149
SET ACTUATOR_REDE_ENERGIA = EnergiaRedeUsada, !- Program Line 150
ENDIF; !- Program Line 151
```

Figura 70 - Atuadores de carga e descarga da bateria do programa EMS.

3.5.6 NOVO FLUXOGRAMA DO PROGRAMA EMS

À medida que o sistema EMS foi implementado, foi necessário a revisão do fluxograma atualizando alguns dos pontos de medição e a adição de uns novos para permitir que o sistema de gestão de energia funcione de forma mais simplista e eficiente possível.

O novo fluxograma, apresentado na Figura 71 representa o ciclo de funcionamento do sistema EMS final, este foi utilizado para a obtenção dos resultados. É possível observar algumas diferenças entre este o primeiro inicialmente proposto. As diferenças baseiam-se na adição de mais uma verificação, para que após o sistema verificar o excesso de produção, quantificar o valor do excesso de produção. Isso é importante, pois se o excedente for baixo ou próximo de zero as bombas de calor estariam a ligar para não aproveitar a energia da rede, fazendo com que até gaste mais, pois esses equipamentos iriam ligar mais vezes em situações semelhantes, garantindo assim que as bombas de calor só trabalhem com um excesso de produção maior. A outra é na forma como o sistema utiliza a bateria. No anterior fluxograma a bateria funcionava apenas quando estivesse totalmente carregada e alimentava sozinha a habitação, sem ajuda da rede. Com o novo modelo, ela ajuda a rede a suprimir os picos de consumo, enviando para a habitação energia elétrica, desde que esta atinja a carga máxima. Outra condição imposta para preservar o tempo de vida da bateria é limitar a carga máxima de descarga, 20%, assim é possível fazer mais ciclos de carga e descarga.

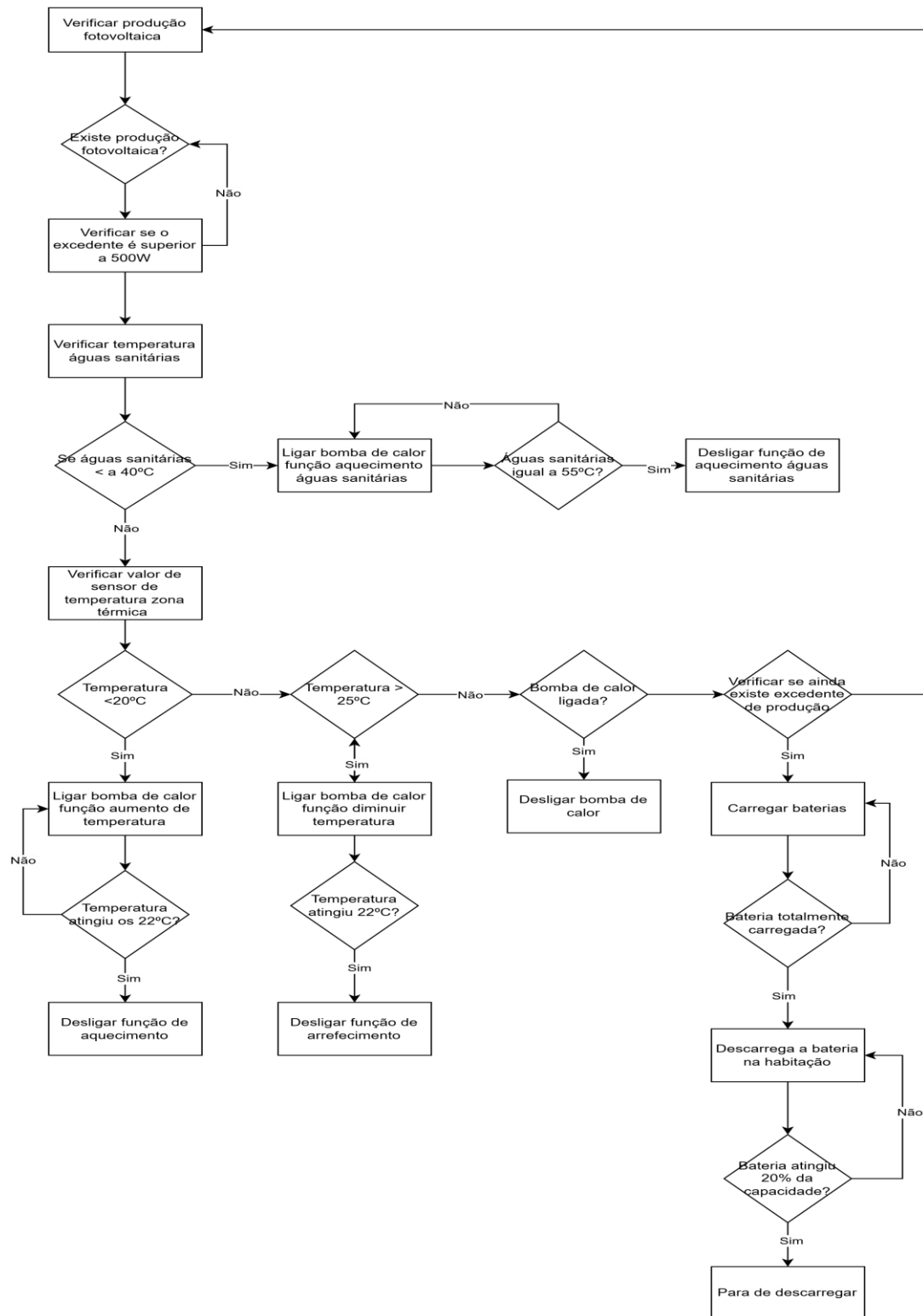


Figura 71 - Fluxograma final de funcionamento do sistema EMS.

4 SIMULAÇÃO DO MODELO EM OPENSTUDIO/ENERGYPLUS

Neste capítulo do relatório, serão abordados os resultados da simulação em Openstudio. Os resultados relevantes para este projeto têm a relação direta com o consumo de energia. Apesar disso, também vão ser avaliados e discutidos resultados de variáveis pertinentes, a temperatura média por espaço da habitação e ainda as suas necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Relativamente aos resultados do consumo de energia a habitação, análise no espaço temporal de um ano, referente ao ano de 2023, vão ser avaliados os seguintes pontos:

- Energia produzida pelos painéis fotovoltaicos;
- Energia consumida pelos painéis fotovoltaicos;
- Total de energia consumida pela habitação;
- Total da energia consumida pela pelas bombas de calor;
- Análise da energia armazenada;
- Análise da energia poupada com o sistema EMS;
- Temperatura média de conforto por zona térmica.

4.1 RESULTADOS DO PRIMEIRO MODELO EMS

A simulação do modelo criado em Openstudio gerou um consumo total de energia de 4728 kWh, realçando que o total dessa energia é sob a forma de energia elétrica. Como ao longo do ano, a produção dos painéis fotovoltaicos foi de 1544 kWh, toda essa energia foi absorvida pelas fontes de consumo e armazenamento da habitação da bateria, originando um valor de energia líquida local de 3356 kWh, que após descontar a produção fotovoltaica à ao valor da energia consumida pela habitação. Pode-se concluir que a utilização de um sistema EMS o aproveitamento da energia fotovoltaica foi cerca 33% como mostra a Tabela 11. O fator que permite observar isso de forma concreta na tabela é o facto de nenhuma energia, principalmente fotovoltaica, ser enviada para a rede, o que conclui que foi eliminado qualquer “desperdício” de energia renovável. Um resultado muito positivo, pois torna possível que os sistemas EMS para gestão e controlo de energia podem também ser um meio importante para atingir os objetivos do NET 0 para 2035.

Tabela 11 - Consumo energético global da habitação com o modelo 1.

Electric Loads Satisfied		
	Electricity [GJ]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	5.562	32.68
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	-0.62	-3.7
Total On-Site Electric Sources	4.937	29.01
Electricity Coming From Utility	12.080	70.99
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	12.080	70.99
Total On-Site and Utility Electric Sources	17.017	100.00
Total Electricity End Uses	17.017	100.00

A tabela foi obtida através da simulação do modelo em EnergyPlus. Estes resultados têm como consideração o ano de 2023, e correspondem aos vários tipos de energia utilizados na habitação ao longo desse período. É possível conferir que os 32,68% da energia total usada na habitação provém dos painéis fotovoltaicos e que maior parte dessa energia, 29,01%, foi na totalidade aproveitada diretamente no consumo da habitação, enquanto 3,7% dessa energia foi armazenada em uma bateria para ser utilizada como auxílio à energia da rede quando esta tiver na sua carga máxima, daí o valor negativo, pois a energia foi armazenada e utilizada com o objetivo de atenuar o consumo de energia da rede. O sistema EMS desenvolvido possibilitou o aproveitamento na totalidade dos 100% de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos e por isso pode-se concluir que a bateria de 5 kWh para este caso de estudo é mais que suficiente para suprimir as necessidades da habitação. Por isso, não compensando investir ou dimensionar uma bateria de maior capacidade, pois o valor de aproveitamento da energia iria ser o mesmo. Em caso de aumento de potência instalada fotovoltaica, poderá ser necessário a implementação de uma bateria de maior capacidade ou de outras que funcionem paralelo com a já instalada na habitação.

O gráfico de barras da Figura 72 apresenta o valor da energia consumida, em kWh, pelos vários tipos de consumos ao longo do período de um ano simulado. É visível que os maiores consumos da habitação residem na utilização das bombas de calor para climatização do espaço ou AQS. Como estes são os maiores consumos da habitação a lógica EMS teve como foco o comando esses equipamentos, aproveitar para diminuir o consumo da energia da rede não descorando também o conforto da habitação.

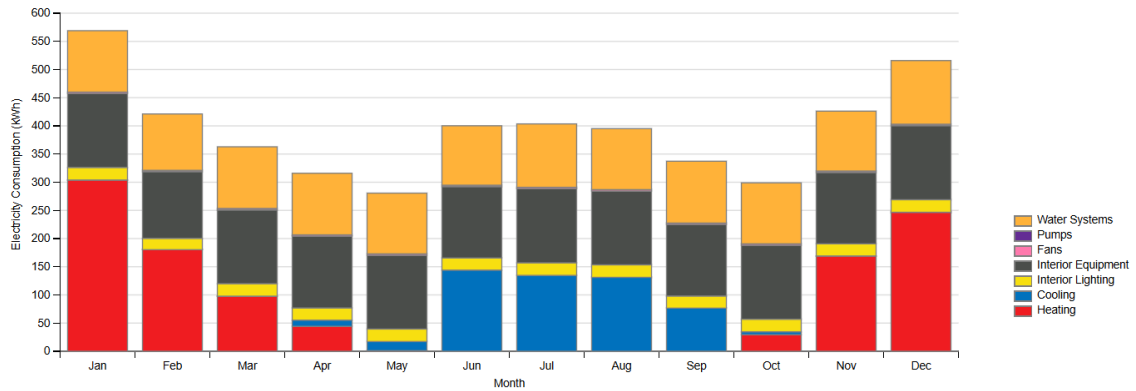


Figura 72 - Energia consumida mensal durante o ano de simulação.

A simulação também permitiu avaliar o conforto térmico da habitação. O sistema EMS de certa forma, influencia de forma direta o conforto da habitação, pois como existe um aproveitamento da energia excedente dos painéis fotovoltaicos para funcionar a bomba de calor para climatizar o espaço então, de certa forma equilibra as temperaturas das zonas térmicas para temperaturas de conforto com maior regularidade. Em suma essa regularidade de atuação da bomba de calor aumenta o conforto térmico da habitação, essa afirmação é possível conferir pelos resultados obtidos na Tabela 12, onde a temperatura média de cada zona térmica está inserida entre os 22°C a 23°C, que são gamas de temperatura conhecidas como temperaturas de conforto ambiente. Além desses dados a tabela também mostra que o maior número de horas está compreendido entre as temperaturas de 21°C a 24°C.

Tabela 12 - Dados de temperatura média ao longo do ano por cada zona térmica.

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Cig (hr)	Unmet Cig - Occ (hr)	Mean Temp (C)
THERMAL ZONE: CASA DE BANHO 1	0	0	0	0	0	0	0	130	4648	1597	2385	0	0	0	0	0	22.9 (C)
THERMAL ZONE: CASA DE BANHO 2	1	0	0	0	0	0	0	24	4655	1356	2725	0	0	0	516	0	23.2 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 1	4384	0	0	0	0	0	1204	3275	665	3518	98	0	0	0	17	0	22.3 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 2	4078	0	0	0	0	0	1247	3033	626	1741	2113	0	0	0	0	0	22.5 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 3	1160	0	0	0	0	0	20	2727	2191	3365	457	0	0	0	233	0	22.7 (C)
THERMAL ZONE: SALAOZINHA	5	0	0	0	0	0	0	12	905	5425	2417	1	0	0	1646	0	23.7 (C)

4.2 RESULTADOS DO SEGUNDO MODELO EMS

Com o objetivo de aumentar a eficiência energética do edifício, construiu-se um modelo teórico melhorando a habitação real estudada no anterior modelo nos seguintes aspetos:

Aumento para o dobro da potência fotovoltaica instalada anteriormente. Cada morador tem um espaço reservado para alocar mais dois painéis fotovoltaicos e através dessa informação, o novo modelo tentará averiguar como a habitação se comporta a nível energético numa possível futura decisão do aumento da potência instalada. Além disso, também é importante verificar como o sistema EMS desenvolvido se comporta com uma maior produção de energia fotovoltaica. Como existe um limite finito de número de painéis fotovoltaicos que é permitido colocar por cada habitação do edifício, este será o último teste referente ao aumento de potência fotovoltaica, pois numa situação real será impossível acrescentar mais que dois painéis. A única alteração viável seria alterar os anteriores e colocar novos com uma potência por painel mais elevada, ao invés dos 450 W por painel instalada no momento.

O outro aspeto de melhoria refere-se à colocação de um painel solar térmico para estudar o comportamento da bomba de calor AQS, averiguar se é uma maneira possível e plausível de baixar o consumo deste equipamento. Para a criação dos painéis solares térmicos recorreu-se novamente ao SketchUp openstudio plug in para o dimensionamento, criando uma nova superfície de sombreamento, para que em Openstudio seja possível de adicionar o painel e coletor solar ao modelo. Para a criação deste equipamento o programa tem uma particularidade, pois só permite inserir as medidas dos painéis e a eficiência dos painéis, os restantes dados são introduzidos à posteriori no programa Openstudio, como por exemplo, o volume do tanque dos painéis, taxa de fluxo máxima dos painéis e a área total afeta às células dos painéis para captação de energia solar. A partir destes dados o programa afere automaticamente qual a potência no painel para captação de energia. Através da Figura 73, é possível observar o aumento do número de painéis fotovoltaicos e a criação do painel solar térmico.

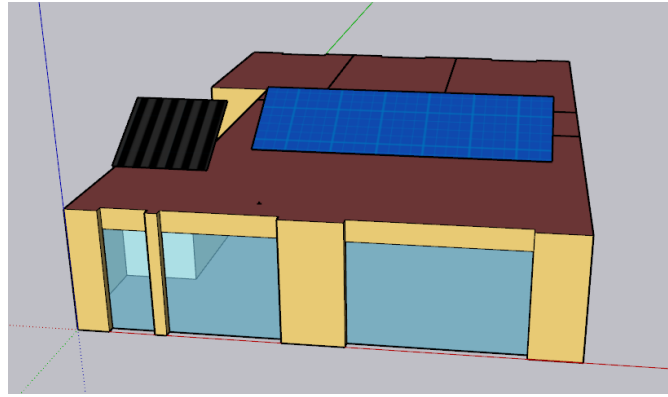


Figura 73 - Modelo 3D em SketchUp com a implementação de um painel solar térmico.

Com a simulação do novo modelo no Openstudio apresentou os dados gerais representados na Tabela 13. Nela é possível observar que o consumo geral diminuiu ligeiramente para 4717 kWh ao invés de 4728 kWh. Um dos valores da tabela de maior realce é o de “Net Site Energy”, que é a energia utilizada da rede após subtraída toda a energia proveniente de fontes renováveis. Isto é bastante positivo, pois o aproveitamento da energia renovável ultrapassa os 50%.

Tabela 13 - Dados gerais de simulação do modelo 2.

Data	Value
Building Name	Building 1
Total Site Energy	4,717 kWh
Net Site Energy	1,647 kWh
Total Building Area	141 m ²
Total Site EUI	33.53 kWh/m ²
Net Site EUI	11.71 kWh/m ²

A energia fotovoltaica produzida pelo novo modelo é de 3541,67 kWh o que é mais do dobro do anterior modelo. Isso acontece por o Openstudio somar ao valor produzido pelos painéis solares o valor da energia captada pelos painéis solares térmicos para aquecimento da água. Os painéis solares térmicos foram interligados no mesmo circuito da bomba de calor para aquecimento de água sanitárias, representado na Figura 61, para que este aproveite a energia do sol para aquecer a água, não necessitando de consumir mais energia para o aquecimento da água para a habitação.

Tabela 14 - Representação dos vários consumos existentes para a habitação ao longo de um ano.

Electric Loads Satisfied

	Electricity [GJ]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	12.671	74.70
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	-1.69	-10.0
Total On-Site Electric Sources	10.978	64.72
Electricity Coming From Utility	8.223	48.48
Surplus Electricity Going To Utility	2.239	13.20
Net Electricity From Utility	5.984	35.28
Total On-Site and Utility Electric Sources	16.962	100.00
Total Electricity End Uses	16.962	100.00

A Tabela 14 apresenta os consumos elétricos da habitação, no que diz respeito à simulação do novo modelo em Openstudio. É possível ver a diferença entre esta tabela e a obtida na simulação do modelo anterior, Tabela 11. Existe um aumento de cerca de 42% referente ao aumento dos painéis fotovoltaicos. Neste novo modelo, a percentagem elétrica dos painéis fotovoltaicos tem uma preponderância de 72% da energia geral da habitação, podendo ou não essa energia ser totalmente aproveitada. O valor de 64,72% representa o valor de energia elétrica produzida no local, que neste caso são painéis fotovoltaicos e painéis solares térmicos, sem contabilizar o valor armazenado de 10%. Esse valor é apresentado de forma negativa, mas não significa que é necessariamente uma perda de carga ou a perda de energia que a bateria não consegue armazenada, mas sim, corresponde à flutuação normal da quantidade de energia armazenada, dependendo o sistema de gestão de energia, EMS, das necessidades energéticas do edifício e da produção de energia fotovoltaica.

O valor 64,72% produzidos pelas fontes de energia renováveis, painel fotovoltaico 51,52% é consumido pelo edifício, enquanto 13,2% dessa energia irá ser injetada na rede elétrica, o que em relação ao anterior modelo, é um aumento de 22,51% a mais de energia aproveitada para consumo direto da habitação. Uma desvantagem do segundo modelo, é a existência de 13,2% de energia que não é consumida pela habitação, sendo esta “perdida” para a rede elétrica.

Um dos problemas enfrentados na criação deste modelo foi a modelação do sistema solar térmico com o sistema da bomba de calor para aquecimento de água. O painel solar

térmico está ligado ao depósito da bomba de calor, fazendo com que esta aqueça a temperatura da bomba levando a que esta tenha consuma menos energia quando vou requisitada para aumentar a temperatura do tanque, que por necessidade do consumo, quer por aproveitamento da energia excedente fotovoltaica. O que acontece é que o programa Openstudio apesar de conectado o painel solar térmico com o tanque de calor, é não apresenta uma diminuição do valor do consumo elétrico, aliás, até se mantém igual em relação ao modelo anterior. Para entender esse fenómeno, foi necessário realizar um estudo mais detalhado às funcionalidades do programa Openstudio, principalmente como funciona o programa para este tipo de circuitos de água quente. Deparou-se que a bomba de calor AQS está a funcionar através de calendários de *setpoints* de temperatura da água, Figura 74.

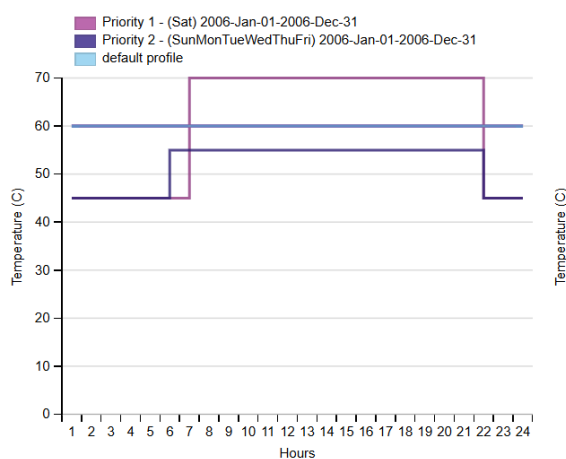


Figura 74 - Calendário de set-point da bomba de calor AQS.

Como o programa necessita para funcionamento correto da máquina este tipo de calendário, o Openstudio prioriza o *input* “Schedule” como o funcionamento padrão da bomba de calor para águas sanitárias, ignorando assim a programação EMS definida para a bomba de calor. Apesar de o sistema EMS estar a identificar os sensores e atuadores da bomba de calor AQS, segundo o ficheiro “edd”, que é um ficheiro após simulação que indica todas as variáveis de saída, a priorização do funcionamento desta máquina é sempre priorizado pelos calendários, ou seja, quando existe verificação dos sensores de temperatura do depósito da bomba de calor vai estar sempre á temperatura definida pelos *setpoints* da máquina para aqueles horários, o que quer dizer que o sistema EMS quando verifica a temperatura do depósito estas estão sempre satisfeitas limitando assim o funcionamento do sistema de gestão de energia. Apesar desta situação é possível fazer uma comparação da energia que era permitido poupar com o sistema painel solar térmico, pois apesar de ele

não estar a ser priorizado pelo sistema, por estar conectado e corretamente criado, a simulação indica o ganho que este tem no modelo, o qual é apresentado na Tabela 15.

Tabela 15 - Dados de simulação sobre produção de energia com base em energia térmica.

On-Site Thermal Sources

	Heat [GJ]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	0.00
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	0.00
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	0.00
High-Temperature Geothermal*	0.00	0.00
Solar Water Thermal	2.93	100.00
Solar Air Thermal	0.00	0.00
Total On-Site Thermal Sources	2.93	100.00

Através da Tabela 15 é possível verificar o valor que o sistema solar térmico produz ao longo do ano, indicando assim uma possível poupança na bomba de calor para aquecimento. Para realizar essa comparação, é necessário primeiro converter o valor da produção da bomba de calor em GJ elétricos presente na Tabela 16, 4,68 GJ, para GJ térmicos através do COP. O COP para aquecimento das águas sanitárias é de 5,4.

Tabela 16 - Tabela dos consumos finais na habitação para o modelo 2.

End Uses

	Electricity [GJ]
Heating	4.02
Cooling	1.65
Interior Lighting	0.94
Exterior Lighting	0.00
Interior Equipment	5.56
Exterior Equipment	0.00
Fans	0.11
Pumps	0.00
Heat Rejection	0.00
Humidification	0.00
Heat Recovery	0.00
Water Systems	4.68
Refrigeration	0.00
Generators	0.00
Total End Uses	16.96

$$\text{Eq}(2) \quad \text{Energia térmica gerada pela bomba de calor AQS} = 4,68\text{GJ} * 5,4 \quad (2.1)$$

$$\text{Energia térmica gerada pela bomba de calor AQS} = 25,27\text{GJ} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Eq(3)} \quad \text{Energia Térmica poupada (BC AQS – Solar térmico)} \\ = 25,27\text{GJ} - 2,93\text{GJ} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\text{Energia Térmica poupada (BC AQS – Solar térmico)} = 22,34\text{GJ} \quad (3.2)$$

$$\text{Eq(4)} \quad \text{Energia Elétrica total Solar térmico + bomba de calor AQS} = \frac{22,34\text{GJ}}{5,4} \quad (4.1)$$

$$\text{Energia Elétrica total Solar térmico + bomba de calor AQS} = 4,14\text{GJ} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Eq(5)} \quad \text{Energia Elétrica poupada Solar térmico} \\ = 4,68\text{GJ} - 4,14\text{GJ} \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\text{Energia Elétrica poupada Solar térmico} = 0,54\text{GJ} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \text{Eq(6)} \quad \text{Poupança da energia Solar térmico + Bomba de calor AQS em \%} \\ = \frac{0,54}{4,68} \end{aligned} \quad (6.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Poupança da energia Solar térmico + Bomba de calor AQS em} \\ = 11,5\% \end{aligned} \quad (6.2)$$

Pode-se concluir, que através dos resultados das equações (2), (3), (4), (5) e (6) a poupança dos painéis solares térmicos iria ter um impacto de poupança em cerca de 11,5% da energia consumida pela bomba de calor de águas sanitárias ao longo do ano. A nível global de consumo, representa cerca de 3% do valor total.

Com o aumento da energia fotovoltaica disponível, o sistema EMS consumiu um pouco mais de energia para aquecer e arrefecer o espaço. Apesar de um aumento do consumo, este foi residual, mas foi o suficiente para melhorar o conforto das zonas térmicas. A Tabela 17 mostra o resultado das temperaturas médias por cada zona térmica ao longo do ano, bem como também o número de horas passado em cada temperatura. Em comparação com a anterior Tabela 12 resultado da simulação do modelo anterior, pode-se observar uma ligeira diferença, diminuindo o número de horas na zona dos 20-21°C e 24-26°C. O motivo disso acontecer, é a existência de maior energia fotovoltaica disponível, que fez com que o sistema EMS ligasse a bomba de calor para climatizar o

espaço mais vezes e durante mais tempo. Visto que no anterior modelo a energia fotovoltaica foi toda consumida pela habitação apesar de se ter consigo um bom conforto, o sistema desenvolvido para o segundo modelo irá utilizar a maior quantidade energia excedente a seu favor e melhorar ainda mais o conforto térmico obtido com a simulação do primeiro modelo. Isso acontece, pois, a bomba de calor irá funcionar mais vezes, quer seja para arrefecimento, quer para aquecimento aumentando assim o conforto térmico à medida que a eficiência energética também aumenta.

Tabela 17 - Tabela de temperatura média das zonas térmicas para a simulação do modelo 2.

Zone	Unmet Htg (hr)	Unmet Htg - Occ (hr)	< 13 (C)	13-16 (C)	16-18 (C)	18-20 (C)	20-21 (C)	21-22 (C)	22-23 (C)	23-24 (C)	24-26 (C)	26-28 (C)	28-30 (C)	>= 30 (C)	Unmet Clg (hr)	Unmet Clg - Occ (hr)	Mean Temp (C)
THERMAL ZONE: CASA DE BANHO 1	0	0	0	0	0	0	0	85	4740	1662	2273	0	0	0	0	0	22.9 (C)
THERMAL ZONE: CASA DE BANHO 2	2	0	0	0	0	0	0	33	4759	1783	2185	0	0	0	322	0	23.1 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 1	4440	0	0	0	0	0	830	3714	647	3249	320	0	0	0	36	0	22.3 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 2	4044	0	0	0	0	0	910	3376	704	1363	2407	0	0	0	0	0	22.6 (C)
THERMAL ZONE: QUARTO 3	849	0	0	0	0	0	4	1832	3183	3027	714	0	0	0	310	0	22.8 (C)
THERMAL ZONE: SALACOZINHA	2	0	0	0	0	0	0	9	1014	5490	2246	1	0	0	1532	0	23.7 (C)

O gráfico de barras da Figura 75 representa o valor da energia consumida, em kWh, pelos vários tipos de consumos ao longo do período de um ano simulado, ano de 2023. Em comparação com o gráfico de barras obtido na Figura 72, estas apresentam curvas de consumo muito idênticas, onde a mudança observável reside em dois meses do ano, abril e outubro, devido a um aumento do consumo da bomba de calor para aquecimento.

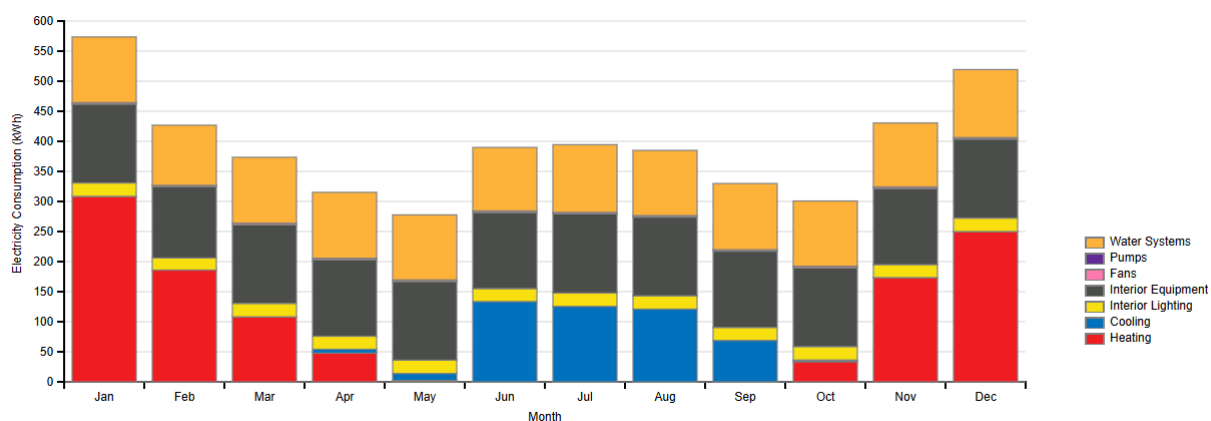


Figura 75 - Consumo de energia mensal ao longo do ano de simulação para o modelo 2.

4.3 ANÁLISE DOS MODELOS EMS

No geral, o segundo modelo estudado, consome menos cerca de 1% a menos da energia total. Apesar de ser um valor residual, o impacto do segundo modelo é mais importante, pois permite poupar mais de 30% de energia da rede, e por consequente, por a habitação estar inserida num país, Portugal, onde maior parte da energia consumida é derivada de fontes não renováveis segundo [28], pode-se então concluir que o segundo modelo tem uma pegada ecológica mais limpa e sustentável.

É verdade que o consumo de energia diminuiu mais de 30% em energia consumida da rede, mas também passou existir energia produzida pelos painéis fotovoltaicos em excesso injetada na rede. Isto acontece devido ao facto de o sistema EMS atingir o limite de energia que consegue aproveitar. A mesma conclusão serve para o sistema de armazenamento. O limite do sistema EMS para aproveitamento da energia para consumo interno da habitação está compreendido entre 2 a 4 painéis fotovoltaicos, para a potência de 450 W, potência real instalada e utilizada para os casos estudados. Também é possível colmatar a energia excedente que é enviada para a rede, aumentando a capacidade das baterias, implementando a capacidade suficiente para armazenar toda a energia que vai no sentido da rede elétrica. Vale lembrar, que para estes casos de estudo, nunca foram avaliados e considerados os custos dos equipamentos, nem os valores monetários que estes permitem poupar ao longo do tempo. O objetivo era comprovar que no caso para a habitação em estudo, o primeiro modelo que correspondente ao caso real, com a utilização de um sistema de gestão de energia que se prioriza o consumo interno que era possível aproveitar uma grande parte da energia dos painéis fotovoltaicos, o que se viu ser possível com o aproveitamento de toda a energia.

O segundo caso de estudo foi um modelo que serviu para testar qual a importância e o impacto um painel solar térmico poderia ter na habitação para uma melhoria futura no sistema energético. Acrescentando a essa melhoria, outra que seria o aumento da potência fotovoltaica, aumento de dois painéis fotovoltaicos, de forma a aferir quanto de energia o sistema EMS consegue poupar caso haja uma maior produção. Com a simulação deste modelo consegue-se uma poupança do consumo de mais de 10% da bomba de calor AQS, e que traduz na poupança na totalidade do consumo elétrico de 3%. Com o aumento da potência fotovoltaica, originou um aumento de 42% da energia fotovoltaica aproveitada em relação ao primeiro modelo estudado. Isto traduz também numa diminuição da

dependência da rede elétrica na habitação, o que por sua vez leva a um aumento na eficiência energética da habitação.

A partir destas conclusões é possível afirmar que com a implementação de painéis solares térmicos e a duplicação dos painéis fotovoltaicos iria trazer benefícios na poupança de energia e no conforto na utilização da habitação. É verdade que existem custos elevados inerentes a essa situação, e daí entra outro fator, a ponderação económica entre custo/benefício. Apesar de ser sempre benéfico para o ambiente, pode não ser benefício a nível monetário para os habitantes da habitação, como poderá não trazer o retorno esperado ao longo do tempo, tendo em consideração o investimento. A mesma conclusão é válida para o aumento futuro da capacidade do sistema de armazenamento, pois olhando para os dados da simulação, talvez fosse a melhor decisão em termos de eficiência energética, aumentar o número de baterias aumentaria a capacidade instalada, isso tornava possível armazenar a energia injetada na rede que não é consumida. Isto teria um grande impacto, pois reduzia ainda mais a dependência da rede e aumentar o aproveitamento fotovoltaico.

Uma das reflexões que é necessário fazer devido os modelos simulados terem sido construídos com duas bombas de calor, uma para a climatização do espaço e outra para aquecimento de águas sanitárias. O motivo deste separar das funções da bomba de calor está relacionado com o programa Openstudio, pois este não permite que o mesmo equipamento realize as duas funções, como anteriormente explicado na construção do modelo. Como a habitação real, tem apenas uma bomba de calor que realiza as duas funções, os resultados dos modelos simulados não apresentem dados de uma forma tão exatos, apesar de serem muito próximos do real. O que acontece se fosse implementado um sistema de gestão de energia EMS criado para a simulação em software para a situação real, é a que as bomba de calor tem que realizar mudanças de ciclo, ou seja, um exemplo prático, quando a bomba de calor está a fazer arrefecimento do espaço, e precisa de aquecer águas sanitárias, como a prioridade é sempre para o aquecimento de águas, a bomba de calor para o arrefecimento e inicia uma mudança de ciclo para aquecer a água. Isso leva a que em certos momentos não seja possível aproveitar a energia excedente da melhor forma, pois ter excedente de produção fotovoltaica para climatizar o espaço ou zona térmica é necessário que a bomba acabe de inverter o ciclo para realizar o aquecimento do espaço por exemplo, o processo demora mais tempo e devido a isso, poderá não aproveitar a mesma quantidade de energia. Claro que a máquina ao realizar inversão de ciclo está a

consumir energia, mas em certas alturas poderá não aproveitar a mesma quantidade de energia que um sistema dividido com duas bombas poderá fazer, pois estas não precisam de fazer inversão de ciclo, podendo trabalhar em simultâneo e necessário e com uma utilização mais precisa e rápida tendo em conta a gestão do sistema EMS.

4.4 REPRESENTAÇÃO DO DISPOSITIVO EMS

Para um eventual estudo mais aprofundado do Sistema EMS desenvolvido através da simulação em Openstudio poderá ser criado o “cérebro” do Sistema que permite comunicar com todos os equipamentos envolvidos no Sistema, recolhendo dados, e atuando consoante os dados recolhidos.

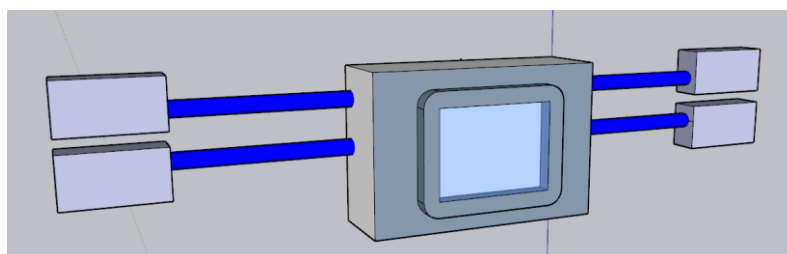


Figura 76 - Representação das ligações de um possível sistema EMS para o caso de estudo.

A Figura 76, representa o sistema teórico pensado, mas com algumas diferenças face ao pensado inicialmente. Este ao contrário do primeiro modelo prático pensado, já não terá associado equipamentos de corte e de proteção, somente liga o microprocessador através das placas de comunicação MODBUS com os vários equipamentos que constituem o sistema. As ligações visualizadas a azul são hipotéticas, não correspondendo à distância real delas, é somente uma ilustração para identificar onde as linhas MODBUS irão ligar.

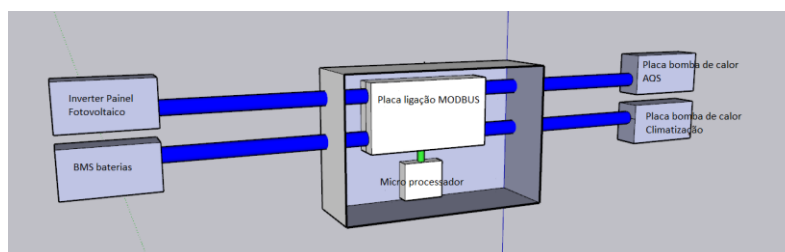


Figura 77 - Representação em corte das ligações do possível sistema EMS

Através da Figura 77, com o modelo em corte e legendado é possível ter uma maior perceção das ligações e como é realizada a organização do Sistema. A azul estão representadas as ligações MODBUS com as várias placas de comunicação dos

equipamentos que o sistema EMS deseja controlar. A verde está representada a ligação entre a placa de comunicação MODBUS e o microprocessador. Como este será responsável por comandar todo o sistema, ele recebe os dados com a comunicação dos vários aparelhos, e também é ele o responsável por definir quais os comandos que se irão realizar.

Com o desenvolvimento do projeto chegou-se à conclusão que a comutação entre circuitos não é viável, pois acarreta um atraso no fornecimento de energia quando existe comutação de circuitos. Um exemplo prático desse acontecimento consiste na habitação quando tiver a bateria carregada desliga a rede e liga somente a bateria, isto teoricamente parece viável, mas se, por exemplo, a bateria chegar ao fim de carga ou atingir um limite máximo de descarregamento definido pelo programa de gestão de energia, o que acontece quando comutar os circuitos ao desligar as baterias para ligar a rede novamente todo o sistema elétrico da habitação todos os sistemas incluindo o sistema elétrico irá ser desligado por breves momentos, o que pode anular tomadas de decisão do sistema de gestão de energia ou provocar transtornos na utilização da habitação.

As tomadas de decisão poderão ser como anteriormente pensadas, mantendo a mesma linguagem de programação ou utilizando outra de acordo com as preferências do projetista.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste projeto foi analisar o impacto e a implementação de um sistema EMS numa habitação correspondente a um apartamento num edifício multifamiliar. Com este sistema pretendia-se verificar se o sistema conseguiria aproveitar a energia excedente dos painéis fotovoltaicos e distribuí-los pelas cargas. Como a habitação já continha bombas de calor para aquecimento do espaço e águas sanitárias, esse tornou-se o alvo da gestão de energia da habitação, de forma a ter o melhor dos dois mundos, a eficiência energética e o conforto do espaço. Para isso utilizou-se tipos de software diferentes para finalidades diferentes, desde a implementação e desenho da planta da habitação a três dimensões e construção e simulação energética do edifício. Foi um desafio enorme conciliar a compatibilidade e as potencialidades dos programas, mas fez parte da curva aprendizagem, o que poderá ser vantajoso também para o futuro profissional.

A linguagem prevista para o desenvolvimento do projeto não foi a prevista. Inicialmente tinha previsto a linguagem Python para a construção do sistema de gestão de energia EMS, mas como era necessário aceder a várias funções para criar equipamentos e configurá-los e esta linguagem não tinha todas os grupos de funções que necessitava, tinha que as criar. Por isso, através da pesquisa no programa Openstudio, vi que este tinha compatibilidade com a linguagem de programação Ruby e tinha também documentação oficial para as funções e classes em Ruby no seu website oficial, o que facilitava a construção do programa EMS e dos seus componentes. Mais tarde descobri outra vantagem da escolha da linguagem Ruby, que era possível criar ficheiros de saída EnergyPlus que permitiu analisar relatórios de erro, as várias variáveis de saída, os atuadores e sensores e ainda o funcionamento do EMS. Este foi um passo crucial, pois permitiu identificar e corrigir as lacunas do ficheiro de gestão de energia, quer ao nível de funcionamento entre equipamentos quer na lógica de funcionamento.

O primeiro modelo EMS simulado indicou uma eficiência teórica melhor que o esperado, pois foi possível aproveitar toda a energia fotovoltaica produzida pelos painéis, mesmo quando havia excesso de produção, que era o principal objetivo. Além disso, os resultados também indicaram que o conforto da habitação se mantém, em média, por cada zona térmica entre os 22°C e os 23°C que são consideradas as temperaturas de conforto. A única diferença que não existe na habitação real que foi considerado na simulação foi a implementação de sistemas de armazenamento, baterias. Mostraram-se uma aposta

acertada, pois também se deve a elas ao aproveitamento total da energia fotovoltaica, apesar de apenas terem relevância na poupança de energia de 3,7% produzida pelos painéis. Mas também se pode concluir que é com esta pequena parcela de energia aproveitada que não existe nenhum desperdício de energia para a rede, e que toda a energia “fica” para ser consumida na habitação. Em suma, os resultados positivos mostram dois pontos pertinentes, um é que deixa de haver energia dos painéis fotovoltaicos desperdiçada para a rede, outra é que o sistema implementado permite retirar “peso” de cima da rede elétrica, ou seja, como é consumida mais energia local proveniente da energia solar, a habitação não precisa e ir “buscar” tanta energia à rede, diminuindo assim a dependência. Se as várias habitações do edifício multifamiliar no qual a habitação em estudo está inserida utilizar o mesmo método de gestão de energia, então não só iria poupar muita energia, também leva a uma redução indireta da produção elétrica, principalmente energia fóssil. E quanto mais aumentar a qualidade dos sistemas energéticos e a quantidade instalada, caminhamos para um caminho mais verde no combate às alterações climáticas, reduzindo assim bastante a capacidade de produção elétrica.

Como todos os projetos têm limitações durante o seu desenvolvimento, este não é exceção. As limitações deste projeto estão associadas à fase de recolha de dados de consumo da habitação. Os dados foram recolhidos através de um inquérito formal a um dos moradores da habitação em estudo. E por isso, apesar de estes poderem ser perto do real, com hábitos aproximados, não refletem os verdadeiros consumos da habitação, pois os dados de consumo são iguais em todos os dias dos meses, apenas são divididos em dias da semana e fins-de-semana. Um exemplo prático são os diagramas de consumo dos equipamentos, estes foram criados em calendários com dois tipos de variação de consumo, o mesmo consumo de segunda a sexta-feira e outro consumo para os sábados e domingos. Estes calendários servem para todos os meses do ano. Isso leva a que os meses por exemplo com 30 dias têm todos os mesmos consumos nos equipamentos e sistemas de iluminação, só variando o consumo das bombas de calor ao longo dos meses, que é uma das variáveis que se pretende aferir para verificar a atuação da bomba de calor. Apesar do consumo das cargas elétricas da habitação, equipamentos e sistema de iluminação, não serem o mais real possível, não impossibilitam atingir o objetivo, analisar o funcionamento e o impacto do sistema EMS. Como a avaliação do sistema EMS somente tem impacto na avaliação do consumo nas bombas de calor, quer para climatização do espaço ou aquecer as águas sanitária, pois são estes os equipamentos que o sistema de gestão de energia controla para aproveitar a energia excedente dos painéis fotovoltaicos.

No futuro os sistemas de gestão de energia vão ter ainda mais preponderância do que têm nos dias de hoje, principalmente com o aparecimento da inteligência artificial. Este projeto num eventual estudo futuro, poderá abordar um sistema com inteligência artificial, que através de sensores e atuadores seja comandado um processador com AI, *Artificial Intelligence* (Inteligência Artificial), sendo esta responsável por fazer a gestão de todo o sistema, vista à poupança de energia e um maior proveito das energias renováveis. Outro ponto pertinente para uma possível melhoria ou estudo futuro para este projeto, é a construção de um protótipo que seja possível implementar com a lógica e o raciocínio pensado ao longo deste projeto na habitação em estudo ou então numa outra onde será possível implementar este tipo de sistema.

Este estudo oferece um contributo vital para a promoção de aparecimento e estudo de novos sistemas de gestão de energia. Além deste contributo, também oferece uma oportunidade para o caminho a novas pesquisas que não só possam melhorar a qualidade de um sistema EMS, como melhorar a sustentabilidade dos projetos de energia renovável, tendo sempre em vista medidas com o objetivo de atenuar as alterações climáticas.

Como proposta de trabalho futuro que inclua como base o projeto desenvolvido neste documento, é a criação de um protótipo de sistema para teste em dimensão à escala real, procedendo depois a uma análise e comparação da eficiência do sistema de gestão de energia com os valores teóricos obtidos. Caso os resultados sejam positivos, será interessante avaliar os custos totais da criação do dispositivo de gestão de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cancer, I. A. (2013). AIR POLLUTION AND CANCER. *LARC SCIENTIFIC*, p. 177.
- [2] Sciences, N. I. (9 de fevereiro de 2024). *Air Pollution and Your Health*. Obtido de NIH National Institute of Environmental Health Sciences: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/air-pollution>
- [3] Silva, B. (18 de janeiro de 2024). *Portugal diz adeus ao carvão e evita emissão de 1,4 milhões de toneladas de CO₂ em 2021*. Obtido de ECO: <https://eco.sapo.pt/2022/01/07/portugal-diz-adeus-ao-carvao-e-evita-emissao-de-14-milhoes-de-toneladas-de-co2-em-2021/>
- [4] Schulz, C. (28 de dezembro de 2023). *What is the 1.5 degree target?* Obtido de fortomorrow: https://www.fortomorrow.eu/en/blog/1-5-degree-target?mtm_campaign=1-5-degree&mtm_kwd=20230306&mtm_source=google-ads&mtm_medium=google-ads&mtm_content=en&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAzc2tBhA6EiwArv-i6fMdTca2rRcOgEHqQVGk0LylWXQvnDKTcLSUu0DpsiUUQDybWramihoCDQg
- [5] Nations, U. (28 de janeiro de 2024). *The Paris Agreement What is the Paris Agreement?* Obtido de Unfccc: https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement?gclid=CjwKCAiAt5euBhB9EiwAdkXWO9OghdS1_qD12qJRbTW3rt-rqZY_R_1UkdhOGzx1W0XPQaCRmQleihoC-CMQAvD_BwE
- [6] Agency, I. E. (maio de 2021). *Net Zero by 2050 a Roadmap for the Global Energy sector*. p. 221.
- [7] EIA. (28 de janeiro de 2024). *Buildings*. Obtido de EIA: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- [8] Nations, U. (30 de janeiro de 2024). *The Sustainable Development Goals Report*. *The Sustainable Development Goals Report*, p. 76
- [9] European Investment Bank. (24 de março de 2024). *Carbon Footprint Report 2022*. L-2950 Luxembourg.
- [10] geologia, D. G. (30 de janeiro de 2024). *National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal*. p. 34.
- [11] Louzada, I. S. (30 de janeiro de 2024). *Dissertação de Mestrado - Guia de Gestão de Energia para Edifícios*. p. 159.
- [12] lxcertificadoenergetico. (30 de janeiro de 2024). *O que é o Certificado Energético?* Obtido de lxcertificadoenergetico: <https://www.lxcertificadoenergetico.com/certificacao-energetica-informacao/>
- [13] iberdrola. (30 de janeiro de 2024). *HOW DO PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS WORK?* Obtido de Photovoltaic solar panels: what they are, types of panels and

how they work: <https://www.iberdrola.com/innovation/how-photovoltaic-solar-panels-work>

- [14] Reis, P. (30 de janeiro de 2024). *portal-energia*. Obtido de Funcionamento painéis solares térmicos para aquecimento: <https://www.portal-energia.com/funcionamento-painéis-solares-termicos-para-aquecimento/>
- [15] PEREIRA, S. D. (6 de fevereiro de 2024). Dissertação Mestrado Climatização passiva em edifício de serviços. p. 121.
- [16] Cerdeira, C. E. (6 de janeiro de 2024). Avaliação de Sistemas de Climatização em Edifícios Residenciais. p. 134.
- [17] Jesus, F. (6 de fevereiro de 2024). *Vantagens e desvantagens das baterias nos sistemas solares fotovoltaicos*. Obtido de PortalEnergia: <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-baterias-sistemas-solares-fotovoltaicos-147310/>
- [18] Schneider Electric USA. (8 de março de 2024). *What is Modbus and How does it work?* Obtido de Schneider Electric USA: <https://www.se.com/us/en/faqs/FA168406/>
- [19] NATIONAL INSTRUMENTS CORP. (8 de março de 2024). *What is the Modbus Protocol & How Does It Work?* Obtido de ni: <https://www.ni.com/en/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- [20] MODICON, Inc., Industrial Automation Systems. (1996). *Modicon*. One High Street, North Andover, Massachusetts 01845.
- [21] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jørgensen, M. Othman and J. Wang, "Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.
- [22] IBM. (21 de março de 2024). *What is a neural network?* Obtido de IBM: <https://www.ibm.com/topics/neural-networks>
- [23] A. Reino and A. Hamburg, "Actual impact of heat pumps to energy performance of apartment buildings in Estonia," *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/RTUCON48111.2019.8982370.
- [24] IEA. (23 de março de 2024). *District Heating*. Obtido de EIA: <https://www.iea.org/energy-system/buildings/district-heating>
- [25] R. S. Adhikari, M. Buzzetti and S. Magelli, "Solar photovoltaic and thermal systems for electricity generation, space heating and domestic hot water in a residential building," *2011 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Ischia, Italy, 2011, pp. 461-465, doi: 10.1109/ICCEP.2011.6036292.
- [26] Mitsubishi Materials Techno Corporatoin. (28 de março de 2024). Ground Source Heat Pump (GSHP) System. Obtido de Mitsubishi Materials Techno

Corporatoin:<https://www.mmtec.co.jp/english/total-engineering/consulting/gshp-system/>

- [27] Marsh, J. (30 de setembro de 2024). *How many watts does a refrigerator use?* Obtido de energysage: <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-refrigerator-use/>
- [28] Roser, H. R. (24 de novembro de 2024). Portugal: Energy Country Profile. Obtido de Our World in Data: <https://ourworldindata.org/energy/country/portugal>

ANEXOS

PROGRAMA EMS

```

EnergyManagementSystem:Program,
  Programa_Controlo_Termico,           !- Name
  SET MODO_ATIVO = 0,                  !- Program Line 1
  SET TotalEquipamento = Frigorifico_Sensor +
Computador_portatil_Sensor + MircroOndas_Sensor + Exaustor_Sensor
+ Placa_Inducao_Sensor + SENSOR_TELEVISAO_QUARTO_1, !- Program
Line 2
  SET TotalLuzes = Sensor_Luz + Sensor_Luz_1 + Sensor_Luz_2 +
Sensor_Luz_3 + Sensor_Luz_4, !- Program Line 3
  SET TotalEnergiaRede = TotalEquipamento + TotalLuzes, !- Program
Line 4
  SET ExcessoEnergia = SensorFotovoltaico - SensorConsumoedificio,
!- Program Line 5
  IF ExcessoEnergia > 500,              !- Program Line 6
  IF AQStanquetemperatura < 40.0,      !- Program Line 7
  SET AjusteTemperaturaSaidaTanque = 55, !- Program Line 8
  ENDIF,                                !- Program Line 9
  IF AQStanquetemperatura >= 55.0,     !- Program Line 10
  SET AjusteTemperaturaSaidaTanque = 0, !- Program Line 11
  ENDIF,                                !- Program Line 12
  ENDIF,                                !- Program Line 13
  IF SalaCozinha >= 21 AND SalaCozinha <= 23, !- Program Line 14
  SET MODO_ATIVO = 0,                  !- Program Line 15
  ELSE,                                !- Program Line 16
  IF SalaCozinha >= 24,                !- Program Line 17
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint1 = 20, !- Program Line 18
  SET Atuador_Arefecimento_Setpoint1 = 22, !- Program Line 19
  SET MODO_ATIVO = 2,                  !- Program Line 20
  ENDIF,                                !- Program Line 21
  IF SalaCozinha <= 20,                !- Program Line 22
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint1 = 22, !- Program Line 23
  SET Atuador_Arefecimento_Setpoint1 = 26, !- Program Line 24
  SET MODO_ATIVO = 1,                  !- Program Line 25
  ENDIF,                                !- Program Line 26
  ENDIF,                                !- Program Line 27
  IF Quartol >= 21 AND Quartol <= 23,  !- Program Line 28
  SET MODO_ATIVO = 0,                  !- Program Line 29
  SET Atuador_BombaCalor = 0,          !- Program Line 30
  ELSE,                                !- Program Line 31
  IF Quartol >= 24,                    !- Program Line 32
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint2 = 20, !- Program Line 33
  SET Atuador_Arefecimento_Setpoint2 = 22, !- Program Line 34
  SET MODO_ATIVO = 2,                  !- Program Line 35
  ENDIF,                                !- Program Line 36
  IF Quartol <= 20,                    !- Program Line 37
  SET Atuador_Aquecimento_Setpoint2 = 22, !- Program Line 38
  SET Atuador_Arefecimento_Setpoint2 = 26, !- Program Line 39
  SET MODO_ATIVO = 1,                  !- Program Line 40
  ENDIF,                                !- Program Line 41

```

```

ENDIF,                                     !- Program Line 42
IF Quarto2 >= 21 AND Quarto2 <= 23,      !- Program Line 43
SET MODO_ATIVO = 0,                       !- Program Line 44
ELSE,                                     !- Program Line 45
IF Quarto2 >= 24,                         !- Program Line 46
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint3 = 20, !- Program Line 47
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint3 = 22, !- Program Line 48
SET MODO_ATIVO = 2,                       !- Program Line 49
ENDIF,                                     !- Program Line 50
IF Quarto2 <= 20,                         !- Program Line 51
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint3 = 22, !- Program Line 52
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint3 = 26, !- Program Line 53
SET MODO_ATIVO = 1,                       !- Program Line 54
ENDIF,                                     !- Program Line 55
ENDIF,                                     !- Program Line 56
IF Quarto3 >= 21 AND Quarto3 <= 23,      !- Program Line 57
SET MODO_ATIVO = 0,                       !- Program Line 58
ELSE,                                     !- Program Line 59
IF Quarto3 >= 24,                         !- Program Line 60
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint4 = 20, !- Program Line 61
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint4 = 22, !- Program Line 62
SET MODO_ATIVO = 2,                       !- Program Line 63
ENDIF,                                     !- Program Line 64
IF Quarto3 <= 20,                         !- Program Line 65
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint4 = 22, !- Program Line 66
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint4 = 26, !- Program Line 67
SET MODO_ATIVO = 1,                       !- Program Line 68
ENDIF,                                     !- Program Line 69
ENDIF,                                     !- Program Line 70
IF SensorCasadebanho1 >= 21 AND SensorCasadebanho1 <= 23, !-
Program Line 71
SET MODO_ATIVO = 0,                       !- Program Line 72
ELSE,                                     !- Program Line 73
IF SensorCasadebanho1 >= 24,              !- Program Line 74
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint5 = 20, !- Program Line 75
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint5 = 22, !- Program Line 76
SET MODO_ATIVO = 2,                       !- Program Line 77
ENDIF,                                     !- Program Line 78
IF SensorCasadebanho1 <= 20,              !- Program Line 79
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint5 = 22, !- Program Line 80
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint5 = 26, !- Program Line 81
SET MODO_ATIVO = 1,                       !- Program Line 82
ENDIF,                                     !- Program Line 83
ENDIF,                                     !- Program Line 84
IF SensorCasadebanho2 >= 21 AND SensorCasadebanho2 <= 23, !-
Program Line 85
SET MODO_ATIVO = 0,                       !- Program Line 86
ELSE,                                     !- Program Line 87
IF SensorCasadebanho2 >= 24,              !- Program Line 88
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint = 20, !- Program Line 89
SET Atuador_Arrefecimento_Setpoint = 22, !- Program Line 90
SET MODO_ATIVO = 2,                       !- Program Line 91
ENDIF,                                     !- Program Line 92
IF SensorCasadebanho2 <= 20,              !- Program Line 93
SET Atuador_Aquecimento_Setpoint = 22, !- Program Line 94
SET Atuador_Resfriamento_Setpoint = 26, !- Program Line 95
SET MODO_ATIVO = 1,                       !- Program Line 96
ENDIF,                                     !- Program Line 97

```

```

ENDIF,                                     !- Program Line 98
SET CapacidadeBateria = 18000000.0,       !- Program Line 99
SET LimiteMinimoBateria = 3600000.0,     !- Program Line 100
SET EficienciaCarregamento = 0.8,        !- Program Line 101
SET EficienciaDescarregamento = 0.9,    !- Program Line 102
SET CHARGESTATE = 0,                      !- Program Line 103
SET ENERGIANECESSARIADAREDE = 0,         !- Program Line 104
SET ENERGIAPARACARREGAR = 0.0,          !- Program Line 105
IF EnergiaFotovoltaica > EnergiaNecessariaParaCarregar, !-
Program Line 106
  SET ENERGIAPARACARREGAR = EnergiaNecessariaParaCarregar, !-
Program Line 107
  ELSE,                                     !- Program Line 108
  SET ENERGIAPARACARREGAR = EnergiaFotovoltaica, !- Program Line
109
  ENDIF,                                     !- Program Line 110
  IF ENERGIAPARACARREGAR > 0,             !- Program Line 111
  SET ControloCargabateria = 0,          !- Program Line 112
  ENDIF,                                     !- Program Line 113
  SET ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR = 0.0, !- Program Line 114
  SET ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR = CapacidadeBateria -
ChargeState, !- Program Line 115
  IF ENERGIAFOTOVOLTAICA > ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR, !-
Program Line 116
  SET ENERGIAPARACARREGAR = ENERGIANECESSARIAPARACARREGAR, !-
Program Line 117
  ELSE,                                     !- Program Line 118
  SET ENERGIAPARACARREGAR = ENERGIAFOTOVOLTAICA, !- Program Line
119
  ENDIF,                                     !- Program Line 120
  SET ChargeState = SensorFotovoltaico,  !- Program Line 121
  SET EnergiaFotovoltaica = SensorFotovoltaico, !- Program Line
122
  IF EnergiaFotovoltaica == 0,            !- Program Line 123
  SET EnergiaBateriaUsada = ChargeState - LimiteMinimoBateria, !-
Program Line 124
  IF EnergiaBateriaUsada > TotalEnergiaRede, !- Program Line 125
  SET EnergiaBateriaUsada = TotalEnergiaRede, !- Program Line 126
  ENDIF,                                     !- Program Line 127
  SET ChargeState = ChargeState - EnergiaBateriaUsada, !- Program
Line 128
  ENDIF,                                     !- Program Line 129
  SET EnergiaNecessariaDaRede = TotalEnergiaRede -
EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 130
  SET EnergiaRedeUsada = EnergiaNecessariaDaRede, !- Program Line
131
  IF EnergiaFotovoltaica < TotalEnergiaRede, !- Program Line 132
  SET EnergiaBateriaUsada = ChargeState - LimiteMinimoBateria, !-
Program Line 133
  IF EnergiaBateriaUsada > TotalEnergiaRede, !- Program Line 134
  SET EnergiaBateriaUsada = TotalEnergiaRede, !- Program Line 135
  ENDIF,                                     !- Program Line 136
  SET ChargeState = ChargeState - EnergiaBateriaUsada, !- Program
Line 137
  ENDIF,                                     !- Program Line 138
  IF ChargeState < LimiteMinimoBateria,  !- Program Line 139
  SET EnergiaNecessariaDaRede = TotalEnergiaRede -
EnergiaBateriaUsada, !- Program Line 140

```

```
SET EnergiaRedeUsada = EnergiaNecessariaDaRede, !- Program Line
141
ENDIF,                                     !- Program Line 142
IF EnergiaParaCarregar > 0,               !- Program Line 143
SET ControloCargabateria = 0,            !- Program Line 144
ENDIF,                                     !- Program Line 145
IF EnergiaBateriaUsada > 0,              !- Program Line 146
SET ControloCargabateria = EnergiaBateriaUsada, !- Program Line
147
ENDIF,                                     !- Program Line 148
IF EnergiaRedeUsada > 0,                  !- Program Line 149
SET ACTUATOR_REDE_ENERGIA = EnergiaRedeUsada, !- Program Line
150
ENDIF;                                     !- Program Line 151
```