

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM PROTÓTIPO NZEB

Diferentes Perfis de Ocupação

MARIA INÊS MACHADO DOS SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Doutor Fernando Pedro Fernandes Pereira

Coorientador: Sérgio Gonçalves de Almeida

JULHO DE 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2017/2018

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2017/2018 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

It always seems impossible until it's done

Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

Uma palavra de agradecimento a todos os que contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado, quer diretamente, quer indiretamente pois sem a sua ajuda não seria possível a realização da mesma.

A todos os docentes do curso de Mestrado Integrado de Engenharia Civil da nobre Faculdade de Engenharia do Porto, por todos os conselhos e conhecimentos transmitidos, que de alguma forma contribuíram para a minha formação académica e pessoal.

Ao meu orientador, Professor Nuno Manuel Monteiro Ramos, pelo profissionalismo, pela dedicação e disponibilidade ao longo de todo o percurso.

Ao meu coorientador, Fernando Pedro Fernandes Pereira, pela capacidade de aconselhamento nos momentos de contrariedades e por toda a ajuda que me deu ao longo deste semestre, pois sem ela não teria sido possível.

Este trabalho foi financiado por: Projeto POCI-01-0145-FEDER-007457 - CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

Aos meus pais e irmãs por nunca deixarem de acreditar em mim e nas minhas capacidades, por estarem sempre presentes em todas as fases da minha vida, pela educação exemplar e todo o conhecimento que me transmitiram durante toda a minha vida.

Ao Gonçalo Costa por toda a paciência, dedicação, apoio e companhia que tornaram possível ultrapassar todos os obstáculos que foram aparecendo ao longo da realização desta dissertação.

A todos os meus amigos que direta ou indiretamente me ajudaram e apoiaram ao longe deste percurso, a destacar a Daniela Mortinho, Teresa Azeredo, Renato Gaspar, António Ferreira, Inês Carvalho, Mariana Gandra, Patrícia Pinho, Ricardo Rodrigues, José Grande com um agradecimento especial pela participação ativa na minha dissertação.

RESUMO

A nível Europeu é prevista uma redução substancial do consumo de energia nos edifícios até 2020. A implementação de Edifícios de Energia Quase Zero (nZEBs) como meta de construção a partir de 2018 representa um dos maiores desafios para aumentar a economia de energia e minimizar as emissões de gases de efeito estufa. O objetivo principal desta dissertação é fornecer uma visão geral do status nacional e europeu para a implementação de nZEBs, com introdução à tecnologia de edifícios inteligentes estudando diferentes tipos de ocupação de um protótipo nZEB fornecido pela empresa DreamDomus. Para isso desenvolveu-se diferentes perfis de ocupação de modo a avaliar os parâmetros interiores do protótipo tais como a temperatura interior, CO₂ e percentagem de humidade relativa.

A revisão do estado da arte foi dividido em três capítulos principais, o primeiro sobre a definição do conceito de edifício nZEB, a legislação e implementação nos diferentes países Europeus, o segundo capítulo sobre a introdução das tecnologias dos edifícios inteligentes nos edifícios e no terceiro capítulo sobre a influência do comportamento dos ocupantes nas características da qualidade do ar interior e da energia e potência do edifício.

A metodologia experimental apresenta as diferentes componentes dos equipamentos instalados, tais como, os sensores do protótipo, incluindo um estudo da constituição arquitetónica e estrutural do protótipo.

Depois do trabalho experimental ser realizado, a apresentação de resultados e conclusões divide-se nos 4 diferentes perfis de ocupação (ocupação livre, sem ocupação, ocupação ativa e ocupação passiva), sendo estudado para cada um deles a temperatura interior, o CO₂ a percentagem de humidade relativa ao longo das semanas. Após essa análise individual, foi feita uma análise mais geral da média dos parâmetros estudados anteriormente entre as semanas de estudo. Foram estudados também os gastos energéticos e a influência do tipo de ventilação nas diferentes ocupações tipo.

De uma forma sucinta, esta investigação forneceu uma avaliação bastante completa do protótipo da empresa DreamDomus sendo o estudo mais direcionado para a variação de ventilação e análise dos parâmetros interiores de qualidade do ar.

PALAVRAS-CHAVE: nZEB, Humidade Relativa, CO₂, Temperatura Interior, Ventilação.

ABSTRACT

The European Climate and Energy package foresees a substantial reduction of energy consumptions in buildings by 2020. The implementation of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) as the building target from 2018 onwards represents one of the biggest challenges to increase energy savings and minimize greenhouse gas emissions. The main objective of this dissertation is to provide an overview of the national and European status for the implementation of nZEBs, with introduction to the technology of intelligent buildings studying different types of occupation of a prototype nZEB provided by the company DreamDomus. For this, different occupancy profiles were developed in order to evaluate the interior parameters of the prototype such as the interior temperature, CO₂ and relative humidity percentage.

The revision of the state of the art was divided into three main chapters, the first includes the definition of the concept of building nZEB, legislation and implementation in different European countries, the second chapter includes the introduction of intelligent building technologies in buildings and the third chapter includes the influence of the occupants' behavior on the characteristics of the indoor air quality and the energy and power of the building.

The experimental methodology describes the different components of the installed equipment such as the prototype sensors, being also studied the architectural and structural constitution of the prototype.

After the experimental work was carried out, the presentation of results and conclusions were divided into four different occupancy profiles (free occupation, without occupation, active occupation and passive occupation), being studied for each of them the interior temperature, CO₂ and the percentage of relative humidity. After this individual analysis, a more general analysis was done from the average of the parameters previously studied between each study week. We also studied the energy expenditure and the influence of the type of ventilation in the different types of occupations.

Briefly, this research provided a fairly complete evaluation of the prototype of the company DreamDomus attending that the study was more focused on the variation of ventilation and analysis of indoor parameters of air quality.

KEY WORDS: nZEB, Relative Humidity, CO₂, Indoor Temperature, Ventilation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	V
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM PROTÓTIPO NZEB	I
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2
2 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS	3
2.1. ENQUADRAMENTO.....	3
2.2. EDIFÍCIOS NZEB	3
2.2.1. DEFINIÇÕES.....	3
2.2.2. BALANÇO ENERGÉTICO	5
2.2.3. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA.....	6
2.2.4. EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL	8
2.2.4.1. Áustria	9
2.2.4.2. Alemanha	9
2.2.4.3. Espanha	10
2.2.4.4. Inglaterra	10
2.2.4.5. França	11
2.3. EDIFÍCIOS INTELIGENTES	13
2.3.1. CONCEITO	13
2.3.2. DOMÓTICA.....	13
2.3.3. PLATAFORMAS E ARQUITETURA	15
2.3.4. MEIOS DE COMUNICAÇÃO.....	15
2.3.5. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	20
2.4. COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES.....	21
2.4.1. MEDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES.....	22
2.4.2. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES	23
2.4.3. CONDICIONANTES DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES	25
3 METODOLOGIA	27

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO.....	27
3.1.1. DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS	28
3.1.2. PORMENOR DOS PAINÉIS DA PAREDE	30
3.1.3. PAVIMENTO E COBERTURA	33
3.1.4. PORMENOR DAS JANELAS	34
3.1.5. ENERGIAS RENOVÁVEIS	37
3.1.6. BATERIA	38
3.1.7. PISO RADIANTE	38
3.1.8. CLIMATIZAÇÃO	39
3.1.9. VENTILAÇÃO	40
3.1.10. SENSORES	41
3.1.10.1. Sensor de CO ₂ , temperatura e humidade relativa interior	41
3.1.10.2. Sensor de Humidade Relativa Exterior	42
3.1.10.3. Sensor de Luminosidade, Crepúsculo e Temperatura exterior	43
3.1.11. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA	44
3.1.12. ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS	45
3.1.13. DOMÓTICA.....	45
3.1.13.1. Sistema de Segurança	46
3.1.13.2. KNX	47
3.1.13.3. Exemplo de Análise de Dados	54
4 RESULTADOS	61
4.1. PARÂMETROS ESTUDADOS E SÍNTESE DE RESULTADOS.....	61
4.1.1. OCUPAÇÃO TIPO 1:	61
4.1.2. OCUPAÇÃO TIPO 2:	68
4.1.3. OCUPAÇÃO TIPO 3:	74
4.1.4. OCUPAÇÃO TIPO 4:	80
5 DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS	89
5.1. INTRODUÇÃO	89
5.2. TEMPERATURA INTERIOR.....	89
5.3. NÍVEIS DE CO₂	90
5.4. HUMIDADE RELATIVA	90
5.5. INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES	91
5.5.1. ENERGIA E POTÊNCIA	91
5.5.2. PARÂMETROS INTERIORES	93
6 CONCLUSÕES.....	97

6.1. CONCLUSÕES FINAIS.....	97
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	99
7 BIBLIOGRAFIA	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Balanço de energia primária: (esquerda) método E-D e (direita) método G-L (Gonçalves e Panão 2013).	5
Fig. 2 - Um nZEB esquematizado com possíveis limites do sistema (D'Agostino 2015).	5
Fig. 3 - Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (Kurnitski et al. 2014).	12
Fig. 4 - Esquema de princípio do funcionamento de um sistema de domótica (Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao 2009).	14
Fig. 5 - Cabo de par trançado não blindado – UTP (Eduardo).	16
Fig. 6 - Cabo de par trançado blindado – STP (Eduardo).	16
Fig. 7 - Cabo fibra ótica (Telecicable) e Cabo coaxial (Lima).	17
Fig. 8 - Topologia em estrela e árvore de uma rede ZigBee (Santos, 2009).	19
Fig. 9 - Rede ZigBee em malha.	20
Fig. 10 - Protótipo DreamDomus no recinto da FEUP.	27
Fig. 11 - Planta em AutoCad fornecida pela empresa DreamDomus.	28
Fig. 12 - Fotografia da área Sala + Cozinha.	28
Fig. 13 - Fotografia da área da Sala + Cozinha e Quarto.	29
Fig. 14 - Fotografias da área da Casa de Banho.	29
Fig. 15 - Corte vertical do painel da parede exterior fornecido pela empresa DreamDomus.	30
Fig. 16 - Corte vertical do painel da parede interior fornecido pela empresa DreamDomus.	30
Fig. 17 - Esquema 1 de ligação das paredes exteriores.	31
Fig. 18 - Esquema 2 de ligação das paredes exteriores.	31
Fig. 19 - Esquema 3 de ligação das paredes interiores.	31
Fig. 20 - Esquema 4 de ligação das paredes interiores.	32
Fig. 21 - Características do painel DreamDomus.	32
Fig. 22 - Corte transversal do pavimento.	33
Fig. 23 - Corte transversal da cobertura.	33
Fig. 24 - Fotografia das Janelas duplas do quarto e da sala de estar.	36
Fig. 25 - Fotografia das Janelas da casa de banho e da porta de entrada.	36
Fig. 26 - Exemplo de painel fotovoltaico fornecido pela DreamDomus.	37
Fig. 27 - Fotografia da Bateria do Protótipo.	38
Fig. 28 - Filme de aquecimento do protótipo.	39
Fig. 29 - Aparelho de ar condicionado do Protótipo.	39
Fig. 30 - Sistema de ventilação mecânica do protótipo.	40
Fig. 31 - Sensor de CO ₂ , temperatura e humidade do protótipo (Schneider Electric).	42

Fig. 32 - Sensor de humidade exterior utilizado no protótipo (Schneider Electric).....	42
Fig. 33 - Sensor de Luminosidade, Crepúsculo e Temperatura exterior (Schneider Electric).....	43
Fig. 34 - Estação meteorológica (Schneider Electric).....	44
Fig. 35 - Bomba de calor sanitária utilizada no protótipo.....	45
Fig. 36 - Fotografia do painel de sistema de segurança utilizado no protótipo.....	46
Fig. 37 - Sistema de vigilância de imagem do protótipo.....	47
Fig. 38 - Página principal de controlo remoto do protótipo.....	47
Fig. 39 - Painel de controlo da iluminação do protótipo.....	48
Fig. 40 - Painel de controlo dos Estores do protótipo.....	48
Fig. 41 - Painel de controlo da Climatização do protótipo.....	49
Fig. 42 - Painel de informação sobre o ambiente.....	49
Fig. 43 - Painel de Segurança do protótipo.....	50
Fig. 44 - Painel de informação energética.....	50
Fig. 45 - Potência do painel fotovoltaico.....	51
Fig. 46 - Informação sobre a bateria em tempo real.....	51
Fig. 47 - Diagnóstico do inversor da Bateria do protótipo em tempo real.....	52
Fig. 48 - Diagnóstico do sistema de gestão da Bateria em tempo real.....	52
Fig. 49 - Informação em tempo real a energia utilizada pelos equipamentos da casa.....	53
Fig. 50 - Gráfico da Luminosidade Este e Sul.....	54
Fig. 51 - Gráfico de Luminosidade Oeste e da velocidade do Vento.....	54
Fig. 52 - Gráfico de Chuva e temperatura exterior.....	54
Fig. 53 - Gráfico de humidade exterior e radiação.....	55
Fig. 54 - Gráfico do CO ₂ e da Humidade do corredor.....	55
Fig. 55 - Gráfico da temperatura do Corredor e o CO ₂ da Sala/cozinha.....	55
Fig. 56 - Gráfica da humidade e da temperatura da Sala/Cozinha.....	55
Fig. 57 - Gráfico CO ₂ e humidade do WC comum.....	56
Fig. 58 - Gráfico da temperatura do Corredor e do CO ₂ da sala/cozinha.....	56
Fig. 59 - Gráfico da temperatura do WC comum e do CO ₂ do quarto.....	56
Fig. 60 - Gráfico da Humidade e da Temperatura do Quarto.....	56
Fig. 61 - Gráfico da velocidade e do Bypass do VMC.....	57
Fig. 62 - Gráfico da potência e da energia do Geral.....	57
Fig. 63 - Gráfico da potência e da energia do carregador VE.....	57
Fig. 64 - Gráfico da potência e da energia da Rede.....	57

Fig. 65 - Gráfico da potência e da energia dos Estores.....	58
Fig. 66 - Gráfico da potência e energia da Iluminação.	58
Fig. 67 - Gráfico da potência e energia do Equipamento Ativo.	58
Fig. 68 - Gráfico da potência e energia do Aquecimento Central.	58
Fig. 69 - Gráfico da potência e energia do Piso Radiante.	59
Fig. 70 - Gráfico da potência e energia das Águas Quentes Sanitárias.....	59
Fig. 71 - Gráfico da potência e energia da Ventilação Mecânica Controlada.....	59
Fig. 72 - Gráfico da potência e energia dos Eletrodomésticos.	59
Fig. 73 - Gráfico da potência e energia dos outros circuitos.....	60
Fig. 74 - Gráfico da carga da Bateria em (Wh) e em %.	60
Fig. 75 - Gráficos de potência da Bateria e do PV.....	60
Fig. 76 - Gráfico da potência da Rede e da Casa.....	60
Fig. 77 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m ²) e vento (m/s) - ocupação tipo1.	62
Fig. 78 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.....	62
Fig. 79 - Evolução dos níveis de CO ₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.	64
Fig. 80 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.....	66
Fig. 81 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m ²) e vento (m/s) - ocupação tipo 2.	68
Fig. 82 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha - ocupação tipo 2.....	68
Fig. 83 - Evolução dos níveis de CO ₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 2.	70
Fig. 84 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 2.....	72
Fig. 85 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m ²) e vento (m/s) - ocupação tipo 3.	74
Fig. 86 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.....	74
Fig. 87 - Evolução dos níveis de CO ₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.	76
Fig. 88 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.....	78
Fig. 89 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m ²) e vento (m/s) - ocupação tipo 4.	80
Fig. 90- Evolução da temperatura da Sala/Cozinha - ocupação tipo 4.	80
Fig. 91 - Evolução dos níveis de CO ₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 4.	82
Fig. 92 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 4.....	84
Fig. 93 - Temperatura interior registada ao longo dos diferentes tipo de ocupação.	89
Fig. 94 - Níveis de CO ₂ diários nos diferentes tipos de ocupação.....	90
Fig. 95 - Percentagem de humidade relativa diária nos diferentes tipos de ocupação.	91

Fig. 96 - Gráfico da média semanal da potência (kW) consumida do perfil de ocupação tipo 1.....	91
Fig. 97 - Gráfico da média semanal da potência (kW) consumida do perfil de ocupação tipo 2.....	92
Fig. 98 - Gráfico da média semanal da potência (kW) do perfil de ocupação tipo 3.	92
Fig. 99 - Gráfico da média semanal da potência (kW) consumida do perfil de ocupação tipo 4.....	93
Fig. 100 - Exemplo de gráfico da temperatura em função do tempo o dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.	94
Fig. 101 - Gráfico exemplo dos níveis de CO ₂ em função do tempo no dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.	94
Fig. 102 - Gráfico exemplo da percentagem de Humidade Relativa em função do tempo no dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.	95
Fig. 103 - Exemplo de gráfico da temperatura em função do tempo o dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.	95
Fig. 104 - Gráfico exemplo dos níveis de CO ₂ em função do tempo no dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.	96
Fig. 105 - Gráfico exemplo da percentagem de Humidade Relativa em função do tempo no dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.	96

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos e valores de referência a considerar em função do contexto do edifício e data do início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (Portaria_nº98/2019 2019).....	8
Quadro 2 - Aplicação das exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia em função da data de início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (Portaria_nº98/2019 2019).	8
Quadro 3 - Layers OSI	15
Quadro 4 - Característica e representação da porta principal de entrada do Protótipo	34
Quadro 5 - Características e representação da janela da cozinha do Protótipo.	34
Quadro 6 - Características da porta secundária da cozinha e do quarto do Protótipo.....	35
Quadro 7 - Características da porta do corredor do Protótipo.	35
Quadro 8 - Características da janela do quarto de banho do Protótipo.....	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação. 63

Tabela 2 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação. 65

Tabela 3 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação. 67

Tabela 4 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação. 69

Tabela 5 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação. 71

Tabela 6 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação. 73

Tabela 7 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação. 75

Tabela 8 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação. 77

Tabela 9 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação. 79

Tabela 10 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação. 81

Tabela 11 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação. 83

Tabela 12 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação. 85

Tabela 13 - Gráficos de monitorização da abertura de portas e janelas da primeira semana de ocupação. 86

Tabela 14 - Gráficos de monitorização da abertura de portas e janelas da quarta semana de ocupação. 87

SÍMBOLOS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

CO₂ - Partes por milhão de dióxido de carbono (ppm)

EP - Energia primária específica (kWh /m²/ano)

HR - Humidade Relativa (%)

RS - Radiação solar global (W/m²)

T - Temperatura (°C)

Tep - Toneladas equivalente de petróleo (tep)

H - Horas

AQS - Água Quente Sanitária

BBC - Bâtiments Basse Consommation

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

EI - Edifícios Inteligentes

EPBD - Energy Performance of Buildings

ER - Energia Renovável

ETS - Engineering Tool Software

FGEE - Fator de eficiência energética total

HVAC - Heating, ventilation, and air conditionin

IEEE - O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos

INE - Instituto Nacional de Estatística

ISO - Organização Internacional de Normalização

KNX - KONNEX

LSF - Light Steel Frame

nZEB - Nearly Zero Energy Buildings

OSB - Oriented Strand Board

OSI - Open System Interconnection

QAI - Qualidade do ar interior

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SIP - Structural Insulated Panels

TIC - Tecnologias da informação e comunicação

UE – União Europeia

VMC - Ventilação Mecânica Controlada

1 INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO

Hoje em dia, os edifícios são responsáveis por 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO₂ da União Europeia. O desempenho energético dos edifícios é um elemento base para atingir os objetivos climáticos e energéticos da UE, tais como uma redução de 20% das emissões de gases com efeito de estufa e 20% das economias de energia primária até 2020 (Diretiva 2010/31). Melhorar o desempenho energético dos edifícios é uma forma rentável de lutar contra as alterações climáticas e melhorar a segurança energética. Do ponto de vista económico, as melhores soluções ambientais não podem ser garantidas por regulamentações que dependem principalmente dos requisitos da envolvente da construção. (Rolfman 2002; Thyholt e Hestnes 2008). A análise da eficiência energética e otimização do custo deve ter em consideração as fontes de energia e os sistemas construtivos. De acordo com a reformulação da EPBD, os requisitos mínimos de desempenho energético devem ser definidos com vista a alcançar níveis ótimos de custo para edifícios, unidades de construção e elementos de construção (Diretiva 2018/844)

Portugal não é exceção, possui um vasto parque edificado com um nível elevado de deterioração marcado por uma regulamentação, na qual as preocupações com a eficiência energética e as emissões de carbono não adotavam a importância que o mundo atual exige, e, deste modo, apresenta, em geral, um mau desempenho energético. Assim, a implementação de estratégias adequadas de reabilitação destes edifícios pode contribuir não só para atingir as metas propostas relativamente à redução do consumo energético e emissões de carbono (dirigidas a 2020, 2030 e 2050), mas também, de uma forma geral, para continuar um importante percurso em direção a cidades mais sustentáveis e espaços urbanos mais saudáveis, confortáveis e seguros. Neste sentido, a revisão da regulamentação europeia ratificada, em particular no que respeita à diretiva europeia de desempenho térmico dos edifícios, veio introduzindo, ao longo das suas versões, exigências de comportamento energético cada vez mais elevadas. Este documento introduziu o conceito de edifícios de necessidades quase nulas de energia (nZEB), maioritariamente para os edifícios novos construídos a partir de 2020. Para que os edifícios existentes sigam o mesmo caminho, as soluções de reabilitação terão de promover reduções significativas das necessidades energéticas e, seguindo as premissas de um edifício nZEB, a energia de que necessitar deverá ser assegurada, na sua maioria, por fontes renováveis localizadas no próprio edifício ou em local próximo (Barbosa e Almeida 2018). Para além disso, o estudo do comportamento dos ocupantes de um edifício é bastante importante para o desenvolvimento deste tipo de edifícios de modo a compreender como é possível obter perfis de mínimo desperdício energético, visto que, em Portugal, em concordância com os dados obtidos pelo inquérito INE e DGEG, a maior fatia do consumo de energia em toneladas equivalente de petróleo (tep) está na cozinha com uma percentagem de 39,1%, acompanhado do aquecimento de águas quentes sanitárias com 23,5%, o aquecimento do ambiente com 21,5% e os eletrodomésticos com 10,9% (INE e DGEG 2011).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho de investigação consiste na avaliação do comportamento de um protótipo de edifício nZEB, *nearly zero energy building*, em função de diferentes perfis de ocupação. Para tal, podemos dividir o trabalho em objetivos intermediários que proporcionam atingir o objetivo essencial:

- Levantamento do estado atual do conhecimento sobre os edifícios nZEB e tomar conhecimento de todas as leis aplicadas e comportamentos/ocupações tipo que foram estudados sobre este tipo de edifícios;
- Avaliação do funcionamento do sistema de domótica implementando no protótipo nZEB;
- Elaborar conclusões sobre os dados obtidos dos parâmetros exteriores como a radiação, temperatura, chuva, vento, humidade relativa e dos parâmetros interiores, como a temperatura, a humidade relativa e o CO₂ através de tabelas com gráficos distribuídos por dias nos distintos compartimentos;
- Comparar os valores de temperatura, humidade relativa e CO₂ registados no interior em função dos diferentes perfis de ocupação que existiram no protótipo durante o período de estudo. Tendo sempre em conta o clima exterior que de certa forma também influencia o interior.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação de mestrado está distribuída nos seguintes capítulos:

- Capítulo 1 - Trata-se do capítulo inicial que inclui a introdução e enquadramento do tema que se vai desenvolver ao longo do trabalho e resume os seus objetivos;
- Capítulo 2 - Corresponde ao capítulo destinado ao resumo do estado da arte sobre o tema dos edifícios nZEB, com foco na legislação e nos estudos realizados sobre o comportamento dos mesmos. Este capítulo é dividido em duas partes, a primeira consiste numa definição exaustiva do conceito através da legislação aprovada a nível europeu e em Portugal completando com exemplos de experiência internacional deste tipo de edifícios, “nearly zero energy buildings”. Na segunda parte é abordado o tema aplicado aos edifícios inteligentes, nos sistemas de domótica, de comunicação, dos seus protocolos e da influência do comportamento dos ocupantes nos nZEB.
- Capítulo 3 - Neste capítulo é descrito pormenorizadamente todo o protótipo, desde a sua constituição estrutural e arquitetónica até à descrição de cada equipamento instalado no mesmo. É também descrito o seu sistema de domótica e plataforma online do nZEB.
- Capítulo 4 - Este capítulo está reservado para a apresentação dos vários resultados, referentes aos diferentes perfis de ocupação do protótipo tendo em destaque os parâmetros interiores como a humidade relativa, o CO₂ e a temperatura interior.
- Capítulo 5 - Neste capítulo é resumido as principais conclusões desta investigação e exposta uma perspetiva pessoal dos desenvolvimentos futuros que se podem vir a realizar dentro deste tema.

2

ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS

2.1. ENQUADRAMENTO

Este trabalho iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica de forma a recolher-se informação sobre o estado da arte de algumas áreas que se consideraram importantes para se definir o posicionamento desta tese de mestrado. Nos subcapítulos seguintes apresenta-se o estado da arte das seguintes áreas:

- Edifícios nZEB, conceito, legislação e aplicações;
- Edifícios Inteligentes, domótica, plataformas, protocolos e meios de comunicação;
- Influência do comportamento dos ocupantes dos edifícios;

2.2. EDIFÍCIOS NZEB

2.2.1. DEFINIÇÕES

O conceito nZEB – *Nearly Zero Energy Buildings* – segundo o artigo 2.º da Diretiva n.º 2010/31/EU (EPBD recast) relativa ao desempenho energético dos edifícios, é definido como um edifício com desempenho energético bastante elevado em que o balanço anual energético entre o consumo e a produção de energia proveniente de fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades é aproximadamente zero. Para o cálculo deste balanço energético é apenas contabilizada a energia referente à ventilação, iluminação, água quente sanitária e climatização e a métrica para quantificar o consumo de energia num nZEB é a energia primária expressa em kWh /m² (EPBD recast, 2010).

Os edifícios de balanço energético próximo de zero, desde a reformulação da Diretiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, Diretiva 2010/31/EU (EPBD recast, 2010), têm recebido uma atenção crescente. Este tipo de edifícios tem necessidades energéticas que são parcialmente supridas por uma produção energética *in-situ*. A EPBD referida impõe aos estados membros que garantam até dia 31 de dezembro de 2020 todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades energéticas quase nulas e que, até ao final de 2018, os edifícios novos ocupados por entidades públicas sejam também edifícios com necessidades de energia quase nulas, (Artigo 9.º da EPBD), (D’Agostino, 2015; Reda e Fatima, 2019).

Na sequência da Diretiva 2010/31/EU, foi publicada no ano passado, a nova Diretiva 2018/844/EU que veio alterar as Diretivas anteriores, Diretiva 2010/31/EU e a Diretiva 2012/27/EU. Esta nova Diretiva reforça a necessidade de os Estados Membros apoiarem as melhorias do desempenho energético dos edifícios existentes que contribuam para a consecução de um ambiente interior saudável e também reforça a importância de se incluírem sistemas e automação nos edifícios com o objetivo de reduzir as necessidades de energia para HVAC e iluminação melhorando o conforto térmico e visual. Uma nova

particularidade desta diretiva é o indicador de inteligência que incentiva o uso de tecnologias de informação e comunicação (TIC) e sistemas eletrônicos para adaptar a operação dos edifícios às necessidades dos ocupantes e da rede e melhorar a eficiência energética e o desempenho geral de edifícios (Diretiva 2018/844/EU).

Contudo, apesar da EPBD estabelecer uma definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia (artigo 2.º da EPBD), a responsabilidade última pela utilização prática dessa definição compete aos Estados-Membros que devem determinar, por exemplo, o que constitui “um desempenho energético muito elevado”, refletindo as condições nacionais, regionais ou locais. Esta abertura permite diferentes interpretações e abordagens de metodologia criando assim possíveis definições diferentes de nZEB de país para país pois não é apresentada uma definição clara ou quantitativa, mas antes uma definição qualitativa. A definição de edifício de consumo de energia quase nulo pode ser considerada ambígua, uma vez que os caminhos definidos pelos países estão dependentes das suas próprias conjunturas, em função de equilíbrios entre custos energéticos e económicos (Gauna 2011).

De acordo com diversas fontes (Sartori et al., 2012, Torcellini et al., 2006), existem várias abordagens ao conceito. Por um lado, Torcellini et al. (2006) sugere quatro abordagens para a definição dos edifícios de balanço energético nulo e expressa-os em indicadores numéricos, energia primária, energia final, custos energéticos e emissões equivalentes de CO₂ tal como é apresentado a seguir:

- *Zero Site Energy* – o balanço energético anual baseia-se no balanço calculado ao nível do limite do local de construção, isto é, a energia total fornecida ao edifício a partir da rede energética tem de ser compensada pela produção de energia do edifício.
- *Zero Source Energy* – o balanço energético anual é contabilizado na fonte, em termos de energia primária. A energia consumida e produzida é multiplicada por fatores de conversão de energia primária.
- *Zero Energy Costs* – o balanço é contabilizado em termos de custos energéticos. Os custos associados à energia importada pelo edifício ao longo de um ano são compensados pela receita gerada da exportação da energia produzida;
- *Zero Energy Emissions* – o balanço é contabilizado em termos de emissões equivalentes de CO₂. O edifício deve compensar as emissões de carbono associadas à energia consumida proveniente de combustíveis fósseis, através da produção de energia de origem renovável, isenta de emissões de CO₂.

Por outro lado, em Sartori et al. (2012) é possível observar as vantagens e as diferenças entre a abordagem de um balanço de energia no edifício: produção (oferta de energia) versus consumo efetivo (procura de energia), denominado por balanço *G-L* (*generated - load*). E a seleção de uma abordagem com base num balanço de fluxos de energia: energia importada pelo edifício, sob a forma de combustíveis ou redes de energia, versus energia exportada através de redes, designado por balanço *E-D* (*exported - delivered*). A título ilustrativo e em concordância com o referido anteriormente, na Fig. 1, relativa ao método *E-D*, é possível identificar que existe um conjunto de frações/edifícios em que a energia fornecida (expressa em energia primária) é reduzida, com pontos relativamente próximos do balanço nulo de energia. No entanto, a mesma figura já não permite visualizar se essas situações advêm da adoção de estratégias conducentes à redução da procura de energia (aumento da eficiência energética) ou de energia proveniente de fontes de origem renovável, ou mesmo da conjugação de ambas. O método *G-L* representado pela Fig. 1, permite identificar a energia produzida no local a partir de fontes de origem renovável. Esta definição permite, desde logo, estabelecer indicadores plausíveis de serem incorporados

na definição de “quase” ZEB e quantificar se um edifício é energeticamente eficiente (Gonçalves e Panão 2013).

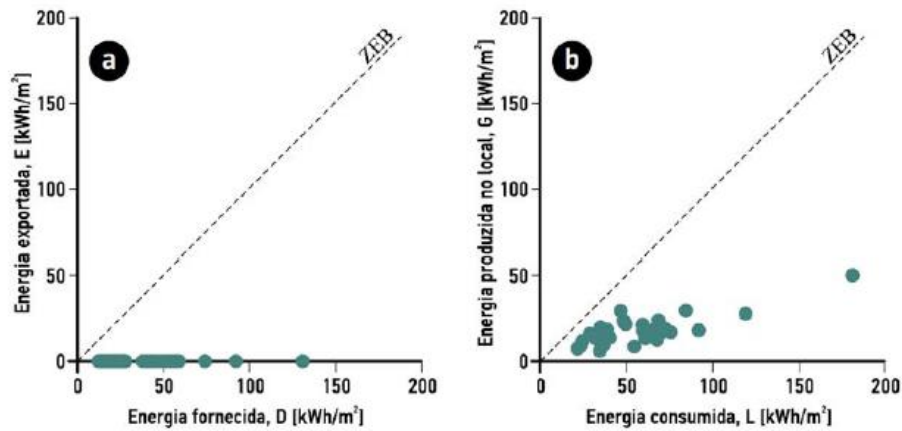


Fig. 1 - Balanço de energia primária: (esquerda) método E-D e (direita) método G-L (Gonçalves e Panão 2013).

2.2.2. BALANÇO ENERGÉTICO

Podem-se distinguir três limites do sistema em termos de necessidade de energia: o uso de energia, a energia importada e a exportada (Fig. 2). O uso de energia tem em conta não só o sistema técnico de construção, bem como as perdas e conversões. O limite de uso de energia do sistema também se aplica ao cálculo da relação de energia renovável (ER) com a inclusão de energia de fontes de energia solar, geotérmica e hidrotérmica para bombas de calor e resfriamento livre. A necessidade de energia é a energia total para satisfazer as necessidades do edifício que consistem principalmente em aquecimento, refrigeração, ventilação, água quente doméstica (AQS), iluminação e eletrodomésticos. Ganhos de calor solares e internos devem ser incluídos na balança. A produção de ER inclui a geração de energia para aquecimento, resfriamento e eletricidade que pode ser produzida no local ou nas proximidades. A energia fornecida no local pode ser fornecida por eletricidade, combustíveis, aquecimento e resfriamento urbano (D’Agostino 2015).

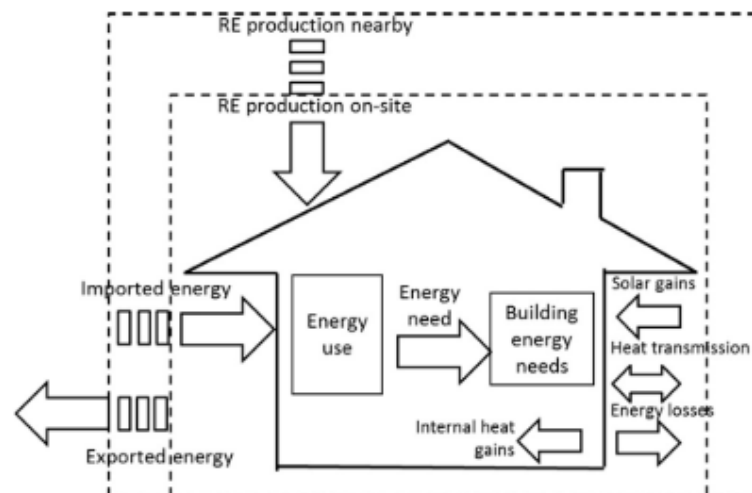


Fig. 2 - Um nZEB esquematizado com possíveis limites do sistema (D’Agostino 2015).

O equilíbrio entre o uso de energia de um edifício e a sua geração de energia renovável é calculado ao longo de um ano na maioria dos métodos existentes nos países Europeus. Dall'O 'et al. propôs para o cálculo de um saldo de energia zero ao longo de um ano usando a equação seguinte:

$$\sum_{m=1}^{12} (EP_G - EP_{RE} - EP_{GP})_m = 0$$

(1)

onde EP se refere à energia primária específica (kWh / m² / ano), e os subscritos G, RE e GP referem-se a energia global, energia ligada a fontes renováveis e a aquisição de energia verde, respetivamente.

Além disso, a EP_G de energia primária específica global pode ser calculada como na equação seguinte:

$$EP_G = EP_H + EP_w + EP_c + EP_{EL}$$

(2)

onde os índices H, W, C, EL se referem a aquecimento, água, refrigeração e eletricidade, respetivamente. A equação 1 destaca como a energia necessária poderia ser compensada pela energia primária das energias renováveis (EP_{RE}), bem como pela energia verde certificada adquirida (EP_{GP}), que também é energia produzida a partir de energias renováveis. A quantidade de energia primária compensada pela compra de energia verde deve ser no máximo equivalente à energia primária produzida a partir das energias renováveis (EP_{RE}). Assim, ER fora do local é permitido, mas tem que ser certificado e está limitado a um valor definido (Dall'O', Bruni, e Sarto 2013).

2.2.3. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA

Em Portugal, o Decreto-Lei 118/2013, relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (“REH”) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (“RECS”), transpondo a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, deu o primeiro passo na abordagem nZEB, associando o conceito do custo-ótimo de rentabilidade à definição de edifício com necessidades quase nulas de energia. Ou seja, o desempenho energético que obtém custos mais baixos durante o ciclo de vida económico. Este Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto é concretizado e regulamentado pela Portaria n.º 349-B/201, contudo, não clarifica a percentagem de incorporação renovável na definição nacional.

De acordo com o (Decreto-Lei 118/2013), o artigo n.º. 16, indica que o parque edificado deve ser composto por edifícios com necessidades energéticas quase nulas, os quais são edifícios com um elevado desempenho energético em que a satisfação das necessidades de energia resulte de energia proveniente de fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades. Os edifícios novos licenciados após 31 de dezembro de 2020, devem ter necessidades quase nulas de energias ou após 31 de dezembro de 2018 para o caso de edifícios novos na propriedade de uma entidade pública. Os membros do Governo responsáveis pelas áreas da energia, do ordenamento do território e das finanças aprovam por portaria o plano nacional de reabilitação do parque de edifícios existentes para que atinjam os requisitos de edifícios com necessidades quase nulas de energia, estabelecendo objetivos finais e intermédios, diferenciados consoante a categoria de edifícios em causa, e incentivos à reabilitação.

Os edifícios com necessidades quase nulas de energia são dotados de:

- a) Componente eficiente compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica que venham a ser obtidos com a aplicação da metodologia de custo ótimo, diferenciada para edifícios novos e edifícios existentes e para diferentes tipologias, definida na portaria a que se refere o número anterior;
- b) Formas de captação local de energias renováveis que cubram grande parte do remanescente das necessidades energéticas previstas, de acordo com os modelos do REH e do RECS, de acordo com as seguintes formas de captação, preferencialmente, no próprio edifício ou na parcela de terreno onde está construído ou em complemento, em infraestruturas de uso comum tão próximas do local quanto possível, quando não seja possível suprir as necessidades de energia renovável com recurso à captação local prevista especificamente para o efeito.

Desta forma, para concretizar o conceito de edifício nZEB e rever e adaptar as exigências regulamentares e legais no caso do REH, tornou-se necessário alterar a Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro. Assim, foi aprovada a Portaria n.º 98/2019, de 2 de Abril, que executa a terceira alteração da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de Novembro, a qual vem adicionar a alínea b) ao artigo 1º, n.º 2 alterando o anexo, o qual passa a ter dois novos pontos (ponto 6 e 7) que desenvolvem e concretizam a figura de edifício com necessidades quase nulas de energia, ou edifício nZEB. Relativamente às necessidades energéticas, apresentadas no ponto 6, a portaria fixa que “o valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (Nic) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 75 % do seu valor máximo (Ni)” (ponto 6.1.1 do anexo). Afirma também que “o valor das necessidades energéticas nominais de energia primária (Ntc) para edifícios de necessidades quase nulas de energia deve ser inferior ou igual a 50 % do seu valor máximo (ponto 6.1.2. do anexo). Quanto ao aproveitamento das fontes de energia renovável, a Portaria estabelece que “os sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável dos edifícios de necessidades energéticas quase nulas devem suplementar pelo menos 50 % das necessidades anuais de energia primária.” (ponto 6.2. do anexo). O ponto 7 adicionado refere que “os requisitos, valores de referência e máximos, a considerar na conceção de edifícios de habitação novos e existentes sujeitos a intervenções, bem como nas situações em que estes estejam sujeitos à emissão dos pré-certificados e certificados do SCE (...) são evolutivos e a sua aplicação encontra-se definida nos Quadros I.20 e I.21”, apresentados de seguida nos Quadro 1 e Quadro 2, (Portaria_nº98/2019 2019).

Quadro 1 - Requisitos e valores de referência a considerar em função do contexto do edifício e data do início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (Portaria_nº98/2019 2019).

			Contexto e requisitos aplicáveis aos edifícios					
			Data da aplicação do requisito e/ou referência					
			Edifícios novos		Edifícios sujeitos a intervenções		Edifícios existentes	
			A partir de 1 de dezembro de 2013	A partir de 31 de dezembro de 2015	A partir de 1 de dezembro de 2013	A partir de 31 de dezembro de 2015	A partir de 1 de dezembro de 2013	A partir de 31 de dezembro de 2015
Data do início do licenciamento ou autorização de edificação	Anterior a 1 de dezembro de 2013	...e certificados SCE emitidos até 31 de dezembro de 2015	NA	NA	NA	NA	✓	NA
		...e certificados SCE emitidos a partir de 31 de dezembro de 2015	NA	NA	NA	NA	NA	✓
	Posterior a 1 de dezembro de 2013 e anterior a 31 de dezembro de 2015		✓	NA	✓	NA	✓	NA
	A partir de 31 de dezembro de 2015		NA	✓	NA	✓	NA	✓

Quadro 2 - Aplicação das exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia em função da data de início do processo de licenciamento ou autorização de edificação (Portaria_nº98/2019 2019).

Contexto	Aplicação das exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia a...	
	Edifícios na propriedade de uma entidade pública e a ser ocupados por uma entidade pública	Todos os edifícios abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto
Data do início de licenciamento ou autorização de edificação		
A partir de 1 de janeiro de 2019	✓	
A partir de 1 de janeiro de 2021		✓

2.2.4. EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL

De acordo com referências bibliográficas recentes, a maior parte dos Estados-Membros da UE já definiu as suas metas nacionais com base nas exigências da EPBD, enquanto estratégias semelhantes são ponderadas pelo Japão e EUA (Hu e Qiu 2019). Em França, por exemplo, a partir de 2020 todos os novos edifícios deverão ser caracterizados por um balanço energético positivo. Por sua vez, o Reino Unido aponta na direção duma estratégia baseada num balanço em termos de emissões de CO₂ nulo, já a partir de 2016 para os edifícios de habitação e 2019 para o setor público. A Finlândia irá caracterizar os edifícios públicos a partir de 2015 com os requisitos Passive House. Com cada vez mais países a apontarem na direção deste novo padrão, em todo mundo são conhecidos aproximadamente 300 edifícios que exemplificam um desempenho energético zero ou próximo do zero (Musall et al., 2010).

Com foco na execução prática do conceito nZEB no universo da Europa, atualmente existem 13 Estados-Membros que apresentam o requisito mínimo caracterizado em termos de consumo global anual específico de energia primária, no seu plano de ação nacional para a implementação dos nZEB, e 8 Estados-Membros apresentam quer valores limites do indicador de energia primária quer a percentagem de cota mínima de fontes de energia renováveis. Os valores limite para o consumo global específico de energia primária entre os vários Estados-Membros, variam entre 32 a 95 kWhEP/(m².ano) na habitação

e entre 60 a 270 kWhEP/(m².ano) para o setor não residencial e, sendo que a maioria dos Estados-Membros centra o seu objetivo nacional do setor habitacional entre 45 a 50 kWhEP/(m².ano). Estes limites, na maior parte dos países, têm em conta os usos de energia relativos à ventilação, ao aquecimento, arrefecimento, produção de água quente sanitária e iluminação (Ecofys, 2014; Kurnitski et al., 2014).

2.2.4.1. Áustria

Na Áustria a definição oficial de “nZEB”, assim como os requisitos energéticos qualitativos e quantitativos, são indicados tanto para a construção nova como para os edifícios existentes (grande renovação) na diretiva 6 do OIB: «Energieeinsparung und Wärmeschutz». Um edifício de energia quase nula, no âmbito Austríaco, é um edifício que está em conformidade com os requisitos de energia estabelecidos na diretiva acima mencionada para o ano de 2020. Quatro principais indicadores de energia estabelecidos no documento são:

- Necessidade energética de aquecimento ambiente “Heizwärmebedarf” em [kWh/m²a];
- Demanda de energia primária em [kWh/m²a];
- Emissão de dióxido de carbono em [kg/m²a];
- Fator de eficiência energética total fGEE.

Este último indicador de Edifícios, o fator de eficiência energética total “fGEE” é um valor comparativo que resulta do valor de referência estabelecido da procura de energia de um objeto com os requisitos listados a partir do ano de 2007. O quociente resultante é o fator de eficiência energética total. Um valor inferior a 1 significa uma melhoria na qualidade energética em relação ao novo padrão de construção especificado no ano de cálculo de 2007.

O status nZEB é atingido quando os requisitos de (b) demanda de energia primária e (c) emissão de dióxido de carbono são atendidos e:

- Alternativa 1: A necessidade de energia para o requisito de aquecimento “HWB-Heizwärmebedarf” e a eficiência mínima das instalações técnicas do edifício “HTEB-Heiztechnikenergiebedarf” são cumpridos.
- Alternativa 2: A necessidade de energia para o requisito de aquecimento “HWB-Heizwärmebedarf” e o requisito de fGEE são cumpridos.

Metas intermediárias para os anos de 2014, e os seguintes 2016 e 2018 também estão incluídas, conforme exigido pela diretiva EPBD 31 no artigo 9.3.b. Os requisitos relativos à quota mínima de energias renováveis estão claramente definidos na secção 4.3 da diretiva (OIB-330.6-009 2015).

2.2.4.2. Alemanha

A definição de um “nZEB” na Alemanha deve ser formalmente estabelecida e implementada pelo governo federal no Regulamento de Conservação de Energia (EnEV 2016). No entanto, uma definição esperada em consonância com a casa KfW Efficiency já está prevista no plano nacional nZEB de 2013. Para novos edifícios, o nível de ambição aponta para o rótulo KfW 40 e para remodelações aponta para os rótulos KfW 55 e 70. Os números indicam as necessidades anuais de energia primária em relação (%) a um novo edifício comparável (edifício de referência), de acordo com os requisitos do Regulamento de Conservação de Energia em vigor. Uma Casa da Eficiência 40, por exemplo, não utiliza mais de 40%

do consumo anual de energia primária do edifício de referência correspondente. O principal requisito de energia pode ser, portanto, apenas o consumo de energia primária, conforme descrito acima (rótulo KfW).

A Portaria de Economia de Energia (EnEV) inclui requisitos adicionais relativos às perdas médias de transmissão de calor específicas da envolvente do edifício, pontes térmicas, estanqueidade ao ar e proteção contra o calor no verão (para evitar o sobreaquecimento). Ao contrário dos outros países analisados, o código alemão não permite uma necessidade máxima de energia para aquecimento de espaços, mas, ao contrário, limita as perdas específicas de transmissão de calor do edifício para edifícios residenciais até os valores máximos apresentados.

Como previsto, a definição nZEB para edifícios públicos que é usada por instituições governamentais foi proposta em linha com o KfW "Effizienzhaus 55-Standard" no rascunho do "GebäudeEnergieGesetz 2018" que deverá ser implementado em 2018, espera-se que uma definição formal do nZEB para novos edifícios residenciais saia antes de 2021 (Garcia e Kranzl 2018).

2.2.4.3. Espanha

O Decreto Real 235/2013, que aprova o procedimento básico de certificação do desempenho energético dos edifícios, inclui também a obrigação de todos os edifícios novos construídos após 31 de dezembro de 2020 serem edifícios com valor quase zero e todos os edifícios novos cuja construção tenha início após 31 de dezembro de 2018 a serem ocupados e de propriedade de autoridades públicas também.

O plano nZEB nacional espanhol é organizado em duas fases. O primeiro consiste no conjunto de metas intermediárias para novas construções a partir de 2015 para promover o alcance das metas de 2020. A segunda fase consiste na definição regulamentar de edifícios de energia quase nula. Uma definição formal do nZEB deve ser abordada no novo Documento Básico de Poupansa de Energia DB-HE 2016/2017. Dentro do regulamento aprovado em 2013 e já em vigor, dois indicadores globais (mais um possível terceiro subsequente) e alguns requisitos específicos adicionais de construção e sistema técnico são definidos para ser usado como uma base para definir um edifício de energia quase zero. Os requisitos mencionados (e o terceiro possível) são:

- Utilização de energia primária (não renovável) em [kWh/m²a];
- Necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento em [kWh/m²a];
- Emissões de CO₂ de construção (possível indicador subsequente).

O código espanhol especifica outros requisitos, que incluem a transmissão máxima de elementos do envelope térmico e outros elementos que separam diferentes unidades do usuário, energia mínima eficiência dos sistemas de aquecimento e iluminação, potência máxima instalada no edifício para fins de iluminação, contribuição mínima de energia proveniente de fontes renováveis para o fornecimento de água quente sanitária sistema, e para usos elétricos no edifício (La Presidencia 2013).

2.2.4.4. Inglaterra

Conforme descrito no plano nacional nZEB do Reino Unido, o Governo do Reino Unido tem como meta que todos os novos edifícios domésticos na Inglaterra sejam "zero carbono" a partir de 2016 e uma ambição para todos os novos edifícios não domésticos na Inglaterra serem carbono zero a partir de 2019 (2018 para novos edifícios do setor público). Padrões e metas similares para habitações com emissões zero de carbono e edifícios com alguma mudança de horário são propostos pela Irlanda do Norte e Escócia. No entanto, o foco deste estudo permanece na Inglaterra como um país representativo do Reino

Unido. A definição de “carbono zero” foi desenvolvida pela parceria entre o governo do Reino Unido e a organização sem fins lucrativos Zero Carbon Hub e destina-se a atender a definição de construção de energia quase zero.

Sob a interpretação do governo do Reino Unido, a palavra “deveria” significa uma aspiração em vez de uma obrigação, deste modo, eles não incluem uma participação mínima de renováveis. No entanto, a definição de “carbono zero”, juntamente com as políticas locais, deve encorajar o uso de energias renováveis no local e redes de calor que poderiam ser conectadas no futuro com fontes de calor renováveis. Outro argumento contra a inclusão de uma quota mínima de energias renováveis é o facto de as tecnologias com baixas emissões de carbono terem ainda um papel importante a desempenhar nos objetivos da diretiva, principalmente porque o desempenho de alta energia pode ser alcançado a um custo menor.

Parte L dos regulamentos de construção na Inglaterra contém as alterações feitas pelo governo do Reino Unido para melhorar os padrões de energia. Existem dois requisitos principais de energia quantitativa na Parte L1A para novas moradias (edifícios residenciais):

- Taxa de emissão de CO₂ pretendida, TER [kg CO₂/m²a];
- Taxa TFEE de eficiência energética da malha alvo [kWh/m²a]. (Conservations of fuel and power L1A)

Do mesmo modo, um requisito principal de energia quantitativa na Parte L2A para novos edifícios que não residências (edifícios não residenciais e edifícios públicos):

- Taxa de emissão de CO₂ alvo TER [kg CO₂/m²a]. (Conservation of fuel and power L2A)

2.2.4.5. França

Em França, os nZEB são designados de BBC (*Bâtiments Basse Consommation*). A RT 2012 (*Régulation Thermique*) estabeleceu requisitos mínimos de consumo de energia primária e utilização de energia renovável para novos edifícios e edifícios existentes submetidos a grandes renovações diferenciados com base na sua localização e funcionalidade. Os requisitos já se encontram em vigor desde outubro de 2011 no caso dos edifícios públicos e desde janeiro de 2013 no caso dos edifícios não públicos.

Para o prazo estabelecido pela Reformulação do EPBD para entrada em vigor do requisito de nZEB, o objetivo da França é o mais ambicioso: Está previsto que a partir de Janeiro de 2021, os edifícios novos e sujeitos a grandes renovações cumpram o requisito de “*Positive Energy Buildings*”, cuja definição encontra-se atualmente em desenvolvimento (Ecofys 2014; BPIE 2015)

Os limites dos nZEB relativamente ao consumo de energia primária são os seguintes (BPIE 2015):

- Edifícios novos residenciais: entre 40 a 65 kWh/(m²ano), dependendo da localização do edifício;
- Edifícios novos não-residenciais: entre 70 a 110 kWh/(m²ano) dependendo da localização e da funcionalidade do edifício;
- Edifícios residenciais existentes sujeitos a grande intervenção: 80 kWh/(m²ano);
- Edifícios não residenciais existentes sujeitas a grande intervenção: 60% do consumo de energia primária do edifício de referência correspondente.

A utilização de energia renovável é um dos objetivos do RT 2012. Assim sendo, os BBC têm que utilizar energia de origem renovável, optando por pelo menos uma das seguintes (Ecofys 2014):

- Produção de AQS através de painéis solares térmicos.
- Ligação a uma rede urbana de aquecimento (com uma quota-parte de renováveis mínima de 50%).
- Demonstração de que a contribuição de renováveis para o consumo de energia primária do edifício é igual ou superior a 5 kWh/(m²ano).

Na imagem seguinte, Fig. 3, é apresentada a definição de nZEB em diferentes países da Europa em função dos seus requisitos mínimos.

Region	Country	nZEB Energy performance				RES		
		Values	Unit	Metric	Energy uses for:	Building type	EP calculation	nZEB req.
Zone 1-2 (Catania, Athens)	Cyprus	180	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, cooling, hot water, lighting	Residential	No	25%
		210				Non-residential	No	25%
Zone 3 (Budapest, Bratislava, Ljubljana)	Slovakia	54	kWh/m ² /y	Primary energy	Heating, hot water, ventilation, cooling (non-res), lighting (non-res)	Detached	N.a.	50%
		32				Apartment	N.a.	50%
		60				Offices	N.a.	50%
	Belgium BXL	45	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, cooling (non-res), hot water, lighting (non-res) appliances	Residential	Yes	-
		95 - 2,5*(V/S)				Offices, educational	Yes	-
Zone 4 (Paris, Amsterdam, Berlin, Brussels, Copenhagen, Dublin, London, Moscow, Nancy, Prague, Warsaw)	Belgium Walloon	60	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, hot water, appliances	Residential and non-res.	N.a.	50%
	Belgium Flemish	30	kWh/m ² /y	Energy use	Heating, cooling, hot water, ventilation, auxiliary systems	Residential Office and school	Yes	>10 kWh/m ² /y
	France	50	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting, auxiliary systems	Residential	No	-
		70				Office	No	-
		110				Office AC	No	-
	Ireland	45	kWh/m ² /y	Energy load	heating, ventilation, hot water, lighting	Residential	N.a.	-
	Netherlands	0	[-]	Energy perform. coefficient (EPC)	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting	Residential/ non-residential	Yes	-
							Yes	-
Region	Country	nZEB Energy performance				RES		
		Values	Unit	Metric	Energy uses for:	Building type	EP calculation	nZEB req.
	Denmark	20	kWh/m ² /y	Energy need	heating, cooling, ventilation, hot water, lighting (non-res)	Residential	Yes	51-56%
		25				Non-residential	Yes	51-56%
Zone 5 (Copenhagen, Tallinn, Helsinki, Riga, Stockholm, Gdansk, Toyaneva)	Estonia	50	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, ventilation, cooling, hot water, lighting, auxiliary electricity, appliances	Detached house	Yes	-
		100				Apartment	Yes	-
		100				Office	Yes	-
		130				Hotel	Yes	-
	Latvia	95	kWh/m ² /y	Primary energy	heating, cooling, domestic hot water, ventilation, lighting	Residential/ non-residential	N.a.	-
	Lithuania	<0,25	[-]	Energy performance indicator C	heating	Residential/ not-residential	N.a.	50%

Fig. 3 - Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (Kurnitski et al. 2014).

2.3. EDIFÍCIOS INTELIGENTES

2.3.1. CONCEITO

A área de estudos dos edifícios inteligentes (EI), embora atual, não é nova. Considera-se que o início das discussões, pelo menos teóricas, sobre este tema remontam à década de 80. No dia 1 de dezembro de 1983, o jornal New York Times (Marcus 1983) noticia a abertura do primeiro edifício inteligente no mundo em Hartford Connecticut, em janeiro do ano seguinte. Tratava-se de um edifício de escritórios chamado “Cityplace”. O edifício possuía uma área útil de cerca de 0,12 km². A inteligência do edifício significava que os seus serviços seriam controlados por um sistema de computador e ligados por uma rede de fibra ótica que atravessa o seu núcleo. Funções como o aquecimento, ventilação, iluminação, transporte, segurança, proteção contra incêndio e, mais importante, as telecomunicações e os serviços eletrónicos de escritório seriam integrados, proporcionando economias na construção e gestão do edifício. No dia 13 de maio de 1984 o mesmo jornal escreveu um artigo descrevendo o conceito de uma nova geração de edifícios com capacidade para pensarem por eles próprios. Este artigo descrevia uma casa que controlava a temperatura, a iluminação e alguns elementos construtivos do edifício de acordo com a ocupação e as exigências dos utilizadores.

Desde o início da discussão nesta temática que a definição e o campo de aplicação têm vindo a ser alterados impulsionado principalmente pelo desenvolvimento de tecnologias relevantes e pelas necessidades de mudança do ambiente construído. De modo sintético, a história dos EI pode ser resumida a:

- Até 1985: edifícios inteligentes são edifícios controlados automaticamente para a função;
- De 1986 a 1991: edifícios inteligentes são edifícios capazes de responder às necessidades de mudança;
- Após 1992 até ao presente: edifícios inteligentes são edifícios com características que satisfazem efetivamente as necessidades de mudança.

Na cronologia resumida supra-indicada está referida a mudança de âmbito, não podendo deixar de ser referido que o conceito e a abrangência dos EI ainda não está completamente estabilizado nem parametrizado. A discussão tem-se alargado durante décadas, tendo-se incluído novas tecnologias, novas plataformas de interface e ampliado a área de influência da automação dos edifícios sem se ter conseguido padronizar o campo de atuação da inteligência do edifício. Dificilmente se chegará a uma estabilização da evolução uma vez que por serem edifícios que incorporam tecnologia e esta ser das áreas mais criativas e inovadoras de todas tal não se afigure plausível (Wang 2010).

2.3.2. DOMÓTICA

Devido às ligações existentes entre os EI e a tecnologia/automação, em Portugal, o conceito de EI está associado o conceito de domótica, quando se refere a edifícios habitacionais. Etimologicamente, domótica provém de duas palavras domus (do latim que significa casa) e robótica (do checo robota). A domótica é habitualmente conhecida como a aplicação da informática, eletrónica e robótica aos edifícios de modo a facilitar a interação dos utilizadores com os mesmos. Globalmente este termo é conhecido como “*building automation systems*” referindo-se à automação dos edifícios que incluem os habitacionais e os comerciais/industriais.

O sistema de controlo de um EI consiste em equipamentos tecnológicos terminais que comunicam com dispositivos de controlo ou servidores. A comunicação entre os equipamentos ocorre através de protocolos de comunicação. Esta comunicação é feita através de meios físicos como cabos de diversos tipos ou através de transmissores e recetores sem fio. Geralmente há um sistema administrador da rede que gere a rede e interage com o utilizador. Os sistemas de EI existentes baseiam-se em redes de comunicação padronizadas permitindo o seguinte:

- Comunicação entre aplicações;
- Maior eficiência e poupanças monetárias em materiais, trabalho e equipamento;
- Funcionalidade dos sistemas com equipamentos de diferentes fabricantes.

Um sistema domótico é baseado no uso de três tipos de componentes: sensores, atuadores e controladores, que estão interligados por intermédio de uma rede. Os sensores são componentes eletrónicos ou mecânicos responsáveis por converter uma variável física num sinal elétrico capaz de ser adquirido pelo sistema. Os atuadores são componentes capazes de atuar no ambiente, comandados por um sinal elétrico. A rede de controlo é implementada de modo a que exista uma comunicação entre todos os componentes do sistema, permitindo o acesso aos dados adquiridos pelos sensores e permitindo aos componentes de controlo enviar comandos para os atuadores. A interligação entre os componentes é feita recorrendo a um meio físico que poderá ser por intermédio de cabo ou sem fios. Para que exista comunicação entre os diversos componentes é necessária a definição de um protocolo de comunicação.

Algo bastante importante num sistema de domótica é a sua interação com os utilizadores. A este nível tem-se registado uma grande evolução sendo que no presente, começa a ser generalizado o fornecimento de um software para os *smart phones* de modo a que o utilizador possa interagir com a casa quando está longe desta.

A Fig. 4 apresenta o esquema de princípio do funcionamento de um sistema de domótica. Face ao indicado, é de esperar que as funcionalidades do sistema sejam cada vez mais abrangentes no espaço habitacional.

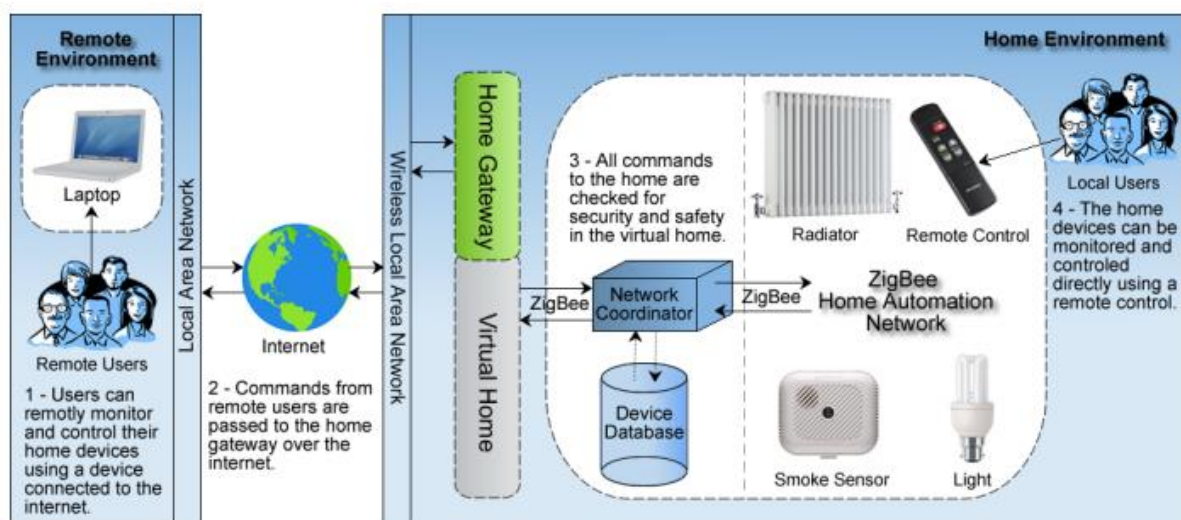


Fig. 4 - Esquema de princípio do funcionamento de um sistema de domótica (Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao 2009).

2.3.3.PLATAFORMAS E ARQUITETURA

Os sistemas existentes nos edifícios podem ser integrados ao nível de três dimensões: físico, rede e aplicativos. A integração de sistemas oferece vantagens ao edifício pela partilha de recursos, melhorando os gastos e a funcionalidade global. No entanto, há uma diferenciação fundamental entre sistemas interligados e integrados. Sistemas interligados são sistemas essencialmente independentes que compartilham dados, mas continuam a funcionar como sistemas autônomos. Sistemas integrados constroem uma única base de dados, reduzindo assim o custo e suporte para sincronização de bases de dados separados.

Na vanguarda da normalização de rede aberta está a Organização Internacional de Normalização (ISO) através do modelo Open System Interconnection (OSI). O modelo OSI apresenta sete layers de arquitetura de rede, com cada camada definida para uma parte diferente de comunicação através da rede. Este modelo tem resistido ao teste do tempo e do seu quadro e derivados devem servir como ponto de referência para a integração da rede. As layers do modelo OSI estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Layers OSI

Camada OSI	Objetivo	Serviços prestados
7 – Aplicação	Compatibilidade de aplicação	Propriedades de configuração; Transferência de arquivos; Serviços de rede
6 – Apresentação	Interpretação de dados	Variáveis de rede; Mensagens de aplicação
5 – Sessão	Controlo	Autenticação.
4 – Transporte	Confiabilidade na comunicação ponto a ponto	Confirmação após a receção de pacotes; Deteção de pacotes duplicados
3 – Rede	Endereçamento e acesso ao meio físico	Endereçamento dos dispositivos; Informação do caminho da mensagem
2 – Ligação	Empacotamento e acesso ao meio físico	Codificação de dados; Verificação de erros CRC, CSMA; Controlo e deteção de colisões; Prioridades
1 – Física	Conexões elétricas	Maios de comunicação e esquemas de modelação

2.3.4.MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Na atualidade existem dois grandes grupos de comunicação entre sistemas integrados: os físicos, através de cabos e os sem fios (wireless). Começando pela análise dos meios de comunicação por cabo, destacam-se os seguintes:

- Cabos de cobre de par trançado;
- Cabos de fibra ótica;
- Cabos coaxiais;
- Rede elétrica.

Nos últimos anos tem-se vindo a observar uma tendência pela generalização dos cabos genéricos e nesse sentido foram criadas algumas normas internacionais para padronizar a infraestrutura de cabos das telecomunicações a nível global. Podem-se indicar as normas ANSI/TIA/EIA-568 e ANSI/TIA/EIA-862 como as normas aplicáveis aos sistemas tecnológicos do EI exceto nos sistemas de alarme de

incendio. Apesar das suas pequenas diferenças, estas duas normas permitem o uso de um único tipo de infraestrutura de cabos num edifício. Até a recente norma sobre sistemas de automação em edifícios, os edifícios eram equipados com diferentes tipos de cabos introduzidos em diferentes tubagens.

Um cabo de cobre de par trançado é composto por um total de oito fios de cobre, entrelaçados aos pares. Os fios são relativamente finos possuindo um calibre entre 22 e 24. Os cabos são torcidos num par para reduzir as interferências eletromagnéticas e mecânicas de fontes externas e interferências mútuas (*crosstalk*). Cada par tem um número diferente de torções em relação aos outros pares no cabo para reduzir ainda mais o *crosstalk*. O número de torções é normalmente definido em termos de n.º de torções por metro e faz parte da especificação deste tipo de cabos. Quanto maior o número de torções, menor o efeito do *crosstalk*. Há dois grupos deste tipo de cabo podendo ser blindado (STP) ou não blindado (UTP) (Fig. 5 e Fig. 6, respetivamente).

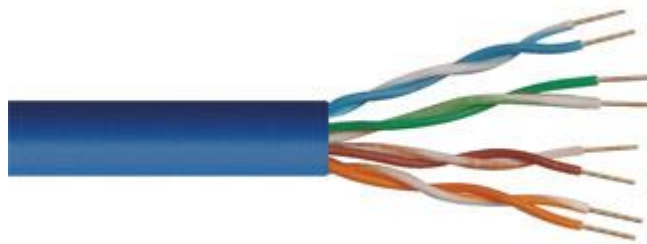


Fig. 5 - Cabo de par trançado não blindado – UTP (Eduardo).



Fig. 6 - Cabo de par trançado blindado – STP (Eduardo).

Os cabos de fibra ótica usam filamentos de vidro ou de materiais poliméricos para propagar luz. Os pulsos de luz transmitem sinais de comunicação entre dispositivos. Cada cabo possui diversos filamentos que são constituídos por um núcleo central por onde ocorre a propagação da luz e um invólucro que é eletricamente isolante. Tanto o revestimento como o núcleo são de, mas têm diferentes "índices de refração", que significa que a luz viaja em velocidades diferentes através dos materiais. O resultado é que os pulsos de luz produzida a partir de lasers ou LEDs, numa extremidade de um cabo de fibra ótica, são enviados através do núcleo da fibra ótica e são refletidos de volta para o núcleo quando a luz atinge o revestimento de fibra ótica mantendo a luz dentro do núcleo central. Os cabos de fibra ótica, com pequenos núcleos interiores (10 microns ou menos) têm apenas um caminho para a luz e são referidos como fibra de modo único. Cabos de fibra ótica com núcleos ligeiramente maiores (50 e 62,5 microns) ter vários caminhos para a luz e são chamados de fibra multimodo. O revestimento de ambos os tipos de fibra é de 125 micra. Para comparação, o cabelo humano é, em geral na gama de 40 a 120 microns.

À medida que o pulso de luz atravessa o cabo perde existe uma atenuação dos pulsos. Esta atenuação é medida em decibéis dependendo do comprimento de onda. Os cabos de fibra ótica multimodo que operam em baixas comprimentos de onda podem ter atenuação inferior a 3,5 decibéis por quilômetro e menos de 1,5 decibéis por quilômetro em comprimentos de onda mais elevados. Cabos de fibra ótica monomodo tem um desempenho superior com atenuação máxima de 0,5 a 1 decibel por quilômetro e pode ser usado em qualquer lugar de uma rede, mas geralmente são usados para distâncias mais longas por questões económicas. Os cabos de fibra ótica multimodo são utilizados para distâncias mais curtas (menos de uma milha) e são encontrados geralmente dentro de edifícios. Além da alta capacidade de largura de banda, as principais vantagens dos cabos de fibra ótica incluem a imunidade da interferência eletromecânica, imunidade a interferências de frequências de rádio, e uso em longas distâncias.

O cabo coaxial é constituído por um fio de cobre condutor envolvido por um material isolante e revestido por uma blindagem. O cabo coaxial é essencialmente um guia de onda de transmissão de frequências de rádio e televisão pelo cabo e é imune a interferências eletromecânicos. Continua a ser utilizado para a transmissão de um vídeo. No entanto, com os avanços técnicos em vídeo IP e com o aumento do uso "baluns" (que permitem que os sinais de vídeo para ser transmitido através de cabo de par trançado sem blindagem) o uso de cabo coaxial tem vindo a sofrer um decréscimo. A sua aplicação em EI é na atualidade bastante reduzida.



Fig. 7 - Cabo fibra ótica (Telecable) e Cabo coaxial (Lima).

Nos casos em que os equipamentos podem ser diretamente ligados à rede elétrica existente, a comunicação pode ser efetuada através da própria rede elétrica. Este tipo de sistemas são muito usados em ambientes pouco profissionais devido à sua simplicidade e ao seu baixo custo. Um dos grandes problemas deste tipo de meio de comunicação é a sua baixa fiabilidade. Um corte de corrente pode induzir o caos no sistema sendo que as definições dos dispositivos podem ser alteradas (Jiang, Llu, e Yang 2004).

Por outro lado, existe o meio de comunicação sem cabo. A conectividade sem fio é apenas um substituto para a conectividade por cabo. Tecnicamente uma rede sem fios não pode fornecer a largura de banda teórica de uma conexão de cabo físico. No entanto, as redes sem fios podem proporcionar mobilidade e constituem uma excelente opção para conectividade em edifícios mais antigos, onde as infraestruturas de cabo podem não estar disponíveis.

Relativamente aos meios de comunicação sem cabos destacam-se os seguintes:

- Wi-Fi;
- Wi-Fi Mesh Networking;
- ZigBee;
- Bluetooth;
- Infravermelhos.

Os sistemas sem fios (Wi-Fi), substituem as conexões Ethernet a cabo com um dispositivo sem fio. Os sistemas Wi-Fi atuais operam em duas frequências de rádio sem licença, 2,4 GHz e 5 GHz. O Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos (IEEE) definiu três padrões para comunicação Ethernet através destas frequências, que são comumente referidos como IEEE 802.11a, operando na frequência de 5 GHz, e IEEE 802.11b e 802.11g, operando na frequência de 2,4 GHz. O standard mais recente, o IEEE 802.11n permite alcances até aos 300 m. Os alcances indicados são para zonas livres de obstáculos, contudo, estes valores podem decrescer consideravelmente caso existam outros dispositivos a usar as mesmas frequências não licenciadas, caso existam obstáculos no interior dos edifícios e estruturas de edifícios que interferem com os sinais que afetam a largura de banda de comunicação recebida da antena Wi-Fi.

É comum os sistemas de domótica incluírem o protocolo Wi-Fi, associado a outro protocolo. O uso do protocolo Wi-Fi prende-se essencialmente em duas grandes razões (Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao 2009):

- É o padrão de comunicação generalizado para aplicações multimídia em casa;
- É utilizado para permitir o acesso ao sistema de automação doméstica de através de dispositivos compatíveis com Wi-Fi (portáteis, desktops, PAD, smartphones, etc...), como uma alternativa para o uso de um controlador local, com base noutro protocolo de comunicação, menos difundido.

Uma rede *mesh* sem fios consiste numa comunicação em rede na qual todos os nós ou routers estão interligados por rádio em vez de usar cabo. Os nós da rede *mesh* comunicam uns com os outros e configuram automaticamente o tráfego de rede através de inúmeras configurações de caminho de rede. As redes em malha consistem muitas vezes em clientes de malha e *router* e *gateways* em malha. Os clientes de malha são muitas vezes computadores, telemóveis ou outros dispositivos sem fio, enquanto os *routers* encaminham o tráfego para e a partir dos *gateways* que pode, mas não precisa, de estar conectado à Internet. Os *routers* servem assim de repetidores de sinal sendo indiferente para um cliente usar um ou outro router.

Zigbee é uma tecnologia sem fios standard de acordo com uma norma, a IEEE 802.15.4. Esta norma, diferencia-se das anteriormente referidas, 802.11, por se focar em redes com baixa transmissão de dados e com um consumo de energia reduzido. Esta tecnologia usa frequências não licenciadas (868 MHz e 2,4 GHz), que também estão disponíveis para telefones sem fio, Wi-Fi e outros dispositivos. A norma destina-se a dispositivos de controlo em edifícios residenciais, comerciais e industriais.

É particularmente útil para sensores e dispositivos de controlo na construção de sistemas de automação em um edifício inteligente, onde pequenas quantidades de informações ou dados estão a ser transmitidos. Isto inclui dispositivos ligar/desligar, termostatos e controlo de motores. Esta tecnologia é utilizada em sensores, atuadores, monitorização remota e dispositivos eletrónicos portáteis. Esta tecnologia por desenvolvida e é evoluída por consórcio industrial com mais de 300 membros que se designam por ZigBee Alliance (Santos, 2009; Gill, Yang et al., 2009)

A velocidade máxima de dispositivos *ZigBee* pode atingir os 250 Kbit/s mas depende da frequência utilizada na camada física (PHY). Na Europa a frequência utilizada é a de 868MHz o que corresponde a uma velocidade de 20kbps. A frequência de 2,4 GHz é utilizada em todo o mundo e correspondem taxas de transmissão de dados de 250 Kbit/s. A distância máxima de um dispositivo isolado varia entre 20 e 70 metros. Contudo, as redes *ZigBee* podem funcionar em malha aumentando assim a fiabilidade do sistema e o alcance do mesmo.

As redes *ZigBee* podem possuir três tipos de dispositivos (Baker 2005):

- ZigBee Coordenador (ZC) – é o responsável pelo armazenamento da informação da rede assim como as chaves de segurança;
- ZigBee Router (ZR) – este tipo de dispositivo é opcional numa rede, podendo servir apenas de repetidor de mensagens ou executar uma função no aplicativo. Serve para aumentar o alcance da rede e para se juntarem mais nós. Pode também servir para funções de monitorizar e/ou de controlo;
- ZigBee Dispositivo Final (ZED) – são desenhados para serem extremamente simples, com requerimentos de recursos e comunicações reduzidos para poupança de bateria, deste modo estes dispositivos apenas podem comunicar com um ZC ou um ZR e nunca podem agir como coordenadores. Não conseguem comunicar com toda a rede, não estando por isso em malha, comunicando apenas com um nó. Desta forma este tipo de dispositivos podem estar desligados grande parte do tempo poupando bateria. São em geral mais baratos que os outros.

A topologia de uma rede *ZigBee* pode tomar três formas possíveis, (Fig. 8 e Fig. 9) sendo a estrela a mais simples e usada em redes mais pequenas nas quais há apenas dispositivos finais e um coordenador. A topologia em árvore, cria pequenos subgrupos sem que estes troquem informações entre si mas apenas com o coordenador. E por fim uma rede em malha que se diferencia desta última topologia por permitir que os routers comuniquem entre si diretamente.

Considera-se que esta tecnologia tem diversas várias vantagens tais como o baixo consumo de energia, o baixo custo, as taxas de transmissão de dados variam de 20 a 900 Kbit/s, tem um amplo suporte de mais de 300 empresas que apoiam o padrão tais como a Motorola, Samsung, Mitsubishi, etc, e tem também a possibilidade de associar milhares de dispositivos ZigBee num único sistema/edifício.

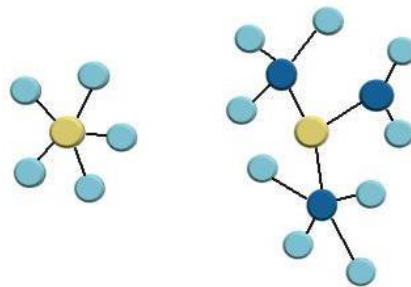


Fig. 8 - Topologia em estrela e árvore de uma rede ZigBee (Santos, 2009).

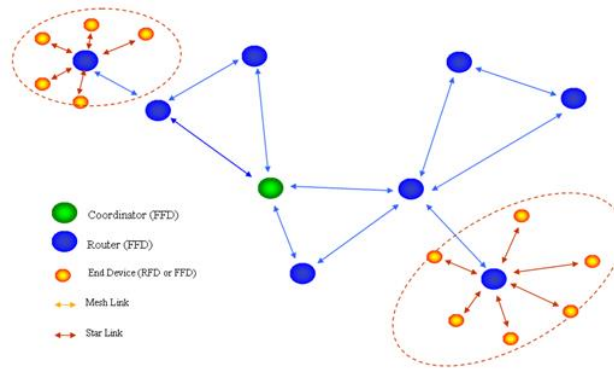


Fig. 9 - Rede ZigBee em malha.

As redes Bluetooth são utilizadas para pequenas distâncias através do uso de ondas de rádio de comprimento de onda entre os 2,4 e 2,485 GHz. Esta tecnologia foi inventada em 1994, sendo normalizada pela IEEE 802.15.1. O equipamento é dividido em três classes de potência de 1 para 3, com potência máxima de saída de 100 mW, 2,5 mW e 1 mW, respetivamente. A faixa máxima de operação de dispositivos Bluetooth é de cerca de 100 m para a classe 1, 20 m para a classe 2 e 10 m para a classe 3. Dispositivos pertencentes à classe 1, transmitem em níveis de energia semelhantes aos telemóveis e o seu uso perto do corpo humano exige uma avaliação de exposição. A taxa de transferência de dados na tecnologia Bluetooth tem vindo a sofrer melhorias consideráveis. A versão 1 atingia no máximo 1 Mbit/s enquanto a versão 3 atinge os 24 Mbit/s (Golmie, Chevrollier, e Rebala 2003). Esta tecnologia foi a primeira rede sem fios a ser introduzida nas habitações. Desde 1950 que os televisores usam esta tecnologia para se enviarem dados entre o comando e o televisor. Este tipo de tecnologia possui taxas de transmissão relativamente altas podendo atingir os 16 Mbit/s.

Os feixes de luz usados para a comunicação possuem comprimentos de onda no campo dos infravermelhos. O sinal não pode penetrar objetos sendo interrompido quando algo bloqueia a luz. O feixe de luz pode ser em linha ou difuso. Um sistema de infravermelho em linha fornece uma gama limitada de cerca de 1 m, e tipicamente é utilizado para redes de área pessoal. Quando se usam ondas difusas estas podem viajar mais longe sendo mais difícil de bloquear o sinal por intermédio de objetos. (IRDA)

2.3.5. PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Para que os dispositivos de uma rede comuniquem entre si e mesmo para que haja comunicação entre diferentes redes é necessária a utilização de protocolos de comunicação. Estes não são mais que uma língua artificial essencial para que a comunicação numa rede ou entre redes se processe. É através de uma mensagem codificada por um protocolo que o emissor envia dados ao recetor que, após a descodificação da mensagem, executa a ordem ou a informação transmitida pelo emissor. Este procedimento só será concluído com sucesso se o recetor conhecer o protocolo usado pelo emissor caso contrário a mensagem ou é perdida ou é mal interpretada. Os protocolos podem ser implementados por hardware, software, ou uma combinação dos dois.

Antes da existência de protocolos de comunicação padronizados e abertos, equipamentos emissores e recetores teriam que ser da mesma empresa sendo impossível a combinação numa rede de equipamentos de várias empresas pois não seria possível a sua comunicação. Na atualidade o panorama mudou radicalmente e não há restrições no uso de dispositivos de fabricantes diferentes desde que o protocolo

usado para a sua comunicação seja o mesmo. O protocolo de comunicação utilizado nos EI é o mesmo tipo dos adotados para as redes de dados. Um dos exemplos de protocolo mais recente é o KNX.

No final do século 20, a tecnologia EIB (European Installation Bus) evoluiu de modo a permitir a utilização de mais meios de comunicação e de controlar mais sistemas. Esta evolução passou pela união da tecnologia EIB com a Batibus e EHS, nascendo assim a tecnologia KONNEX (KNX) apresentando como principal objetivo a criação de uma única norma mundial para a automação de edifícios. Em 2006, o KNX era a única norma mundial, de uso livre, para a automação de edifícios habitacionais e outros, que cumpria os requisitos da ISO/IEC-14543, EN50090 e da CEN-13321(KNX Association). Usualmente esta tecnologia é designada por KNX/EIB por ter como base a EIB.

Como principais incrementos tecnológicos, esta tecnologia pretendia melhorar a prestação de serviços dos vários meios físicos, permitir o controlo da casa à distância através dos meios de comunicação móvel e facilitar a introdução de novos dispositivos numa rede, a chamada filosofia Plug&Play, através da massificação de produtos de diferentes marcas tirando proveito do facto do protocolo KNX/EIB ser livre.

Atualmente a KNX agrega três tecnologias, dando origem a três modos de funcionamento:

- S-mode ou System mode – este modo de funcionamento provém do protocolo EIB. Os dispositivos a colocar na rede de domótica são instalados e configurados por profissionais, através de um software produzido pela KONNEX o Engineering Tool Software (ETS). Este modo é utilizado em instalações mais complexas que impliquem elevado nível de integração e de funções a implementar. Os dispositivos S-mode só podem ser comprados por distribuidores especializados;
- E-mode ou Easy mode – este funcionamento tem como particularidade o facto de já vir pré-programado de fábrica para realizarem determinada função. À semelhança do que é feito no protocolo X10, no local da instalação os dispositivos são configurados através de micro-interruptores ou de um controlador existentes nos dispositivos.
- A-mode ou Automatic mode – baseia-se na filosofia Plug&Play da tecnologia. A instalação dos dispositivos é por isso de extrema simplicidade pois não é preciso qualquer configuração. Este modo de funcionamento foi pensado para a instalação de eletrodomésticos e equipamento de entretenimento.

2.4. COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES

Ao avaliar o desempenho energético do edifício, também é importante considerar o papel dos ocupantes. Um estudo investigou o desempenho energético do Reino Unido EcoHomes e descreveu que o comportamento energético-eficiente responde por 51% da variação no aquecimento e 37% do consumo de energia elétrica (Gill et al. 2010).

Com a melhoria na construção de tecnologias e materiais, o impacto associado dos fatores comportamentais tornou-se mais significativo. Os ocupantes interagem com os sistemas de edifícios para garantir o conforto, como ajustar a iluminação e a temperatura, o que afeta a demanda de energia do edifício. O comportamento dos ocupantes é, no entanto, sempre incerto, o que limita a capacidade dos modelos de energia de prever corretamente o desempenho real da construção. De facto, é muito difícil fornecer um valor padrão para o impacto do comportamento dos ocupantes na demanda de energia do edifício. Todos os padrões atuais de energia, como o ASHRAE, concentram-se predominantemente na construção de aspetos técnicos, mas não discutem o comportamento dos ocupantes. Normalmente, a

ocupação e o comportamento dos ocupantes são considerados nas avaliações do desempenho energético dos edifícios por meio de poucos perfis representativos (Kim e Srebric 2017).

Os EI podem ser completamente automatizados, sendo as ações exigidas pelos utilizadores realizadas automaticamente, possuírem um sistema meramente informativo sobre os parâmetros interiores, sugerindo ações ao utilizador ou combinarem um conjunto de ações automáticas e alertas. Contudo, só se alcança a verdadeira inteligência nos edifícios quando estes respeitam as exigências dos seus ocupantes, recorrendo à menor quantidade de energia possível. De modo a que a exigência dos ocupantes seja respeitada é primeiro necessário conhecer as suas exigências, o seu comportamento e a forma como este influencia o espaço interior de uma fração residencial. Considera-se por isso, o estudo do comportamento dos utilizadores dos edifícios residenciais, uma área de grande importância e cujos resultados serão a base de eventuais modos de funcionamento de um EI. Convém referir que existem parâmetros que qualquer EI deve respeitar e que não são uma necessidade, consciente, dos utilizadores, mas fazem parte de um grupo de exigências que contribuem para melhoria da sua saúde.

A diversidade humana cria a esta área de estudos uma dificuldade extra, sendo a sistematização e parametrização algo difícil de alcançar, pelo menos de forma global. Assim, é comum esta área de estudos, recorrer a bases estatísticas e a dividir a amostragem por grupos (clusters). No entanto, de acordo com alguns estudos, por muito que se caracterize o comportamento humano e se consiga padronizar as suas exigências, o funcionamento dinâmico e adaptável é essencial para se conseguirem poupanças energéticas substanciais combinadas com a satisfação dos utilizadores.

2.4.1. MEDIÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES

O estudo do comportamento dos utilizadores implica a monitorização dos mesmos nos edifícios ao nível das ações que estes desenvolvem e o seu estado. Existem vários tipos de sensores capazes de detetar e caracterizar o comportamento dos utilizadores.

De acordo com os autores (Yan et al. 2015) a medição do comportamento dos utilizadores pode ser desenvolvida de três modos:

- Estudos de observação;
- Realização de inquéritos e entrevistas;
- Estudos laboratoriais.

Enquanto o primeiro é não intrusivo, permitindo monitorizar comportamentos não distorcidos ou condicionados os restantes já podem sofrer algum desvio face ao comportamento natural dos utilizadores. Relativamente à monitorização da ocupação, os autores indicam os sensores de movimento, de dióxido de carbono, as câmaras de vídeo e os sensores portáteis instalados como os mais utilizados. Existem estudos que colocam uma combinação destes sensores para se aumentar a precisão, contudo outros indicam que os sensores de infravermelhos passivos (PIR) são suficientemente precisos por si só. Relativamente à abertura de janelas e portas os autores apontam os sensores de contactos como os mais utilizados. A monitorização de equipamentos ligados a tomadas pode ser efetuada usando sensores de potência colocados em cada tomada. De acordo com este estudo, é necessária uma monitorização com duração de pelo menos um ano.

O projeto E3SoHo, (Messerve et al., 2010) que teve como objetivo a diminuição dos consumos de habitações sociais, resume os principais sensores utilizados numa monitorização residencial. Neste estudo foram utilizados sensores para medir os seguintes parâmetros:

- Temperatura;
- Humidade relativa;
- CO₂;
- Iluminação;
- Ocupação;
- Abertura de elementos;
- Consumos.

O trabalho desenvolvido por (Hnat et al., 2011) deu origem a um guia para a monitorização de edifícios residenciais. O trabalho teve como base 10 estudos anteriores dos autores em cerca de 20 edifícios com um uso superior a 1200 sensores e um tratamento de dados de mais de 17 biliões de dados. O tipo de sensores utilizados variou tendo-se usado os seguintes:

- Movimento
- Utilização de objetos
- Abertura de portas e janelas;
- Medição da altura das pessoas que passam pelas portas;
- Medidores de energia;
- Temperatura e humidade relativa;
- Medição entrada de ar em cada quarto.

2.4.2. MODELAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES

De acordo com (Yan et al. 2015), os modelos de comportamento dos utilizadores são uteis e desenvolvidos para a equipa de projetistas conseguir prever o real consumo de energia dos edifícios. De modo a se assegurar que os modelos são fiáveis na utilização em fase de projeto, é necessário que os modelos prevejam de forma precisa o comportamento dos utilizadores tendo por base os dados colecionados noutro edifício sem ser o alvo de projeto. Esta particularidade requer que o modelo distinga as características principais dos utilizadores e encontre as particularidades específicas e não extrapoláveis nos casos alvo de recolha de dados.

Segundo (Melfi et al. 2011) existem três dimensões ao nível da modelação dos edifícios: temporal; espacial e ocupacional. Este estudo refere que a dimensão temporal se preocupa com a definição do tempo no qual ocorrerão os eventos. A dimensão espacial define o local onde esses eventos tomam lugar e a ocupacional incide sobre o comportamento em si, ao nível do número de ocupantes, das suas atividades, do tipo de ocupantes e do seu estado, por exemplo.

De acordo com (Yan et al. 2015) existem três formas estocásticas principais de modelação do comportamento do utilizador:

- Processos de Bernoulli – a probabilidade de um evento ocorrer é independente do estado anterior (memoryless). Estes modelos são aplicáveis a todo o edifício, sendo uteis para modelação de energia a larga escala não sendo capazes de prever o tempo de ocorrência de comportamentos;

- Cadeias de Markov de tempo discreto – estes modelos dependem do estado anterior para prever a probabilidade. Estes modelos são muito utilizados para prever comportamentos individuais e as motivações para essas ações. As extensões de Markov usam modelos baseados em agentes. Um modelo baseado em agentes interessante para a caracterização do comportamento dos ocupantes de edifícios são os Belief Desite Intention;
- Análises de sobrevivência – muito utilizados para prever a probabilidade de tempo de vida de indivíduos, são utilizados noutras circunstâncias para prever o tempo que demora a ocorrer um determinado evento.

O projeto ThinkHome (Reinisch et al. 2011), realizado em Viena em cinco casas modelo, tentou evoluir o conceito de casa inteligente, de modo a otimizar o conforto dos ocupantes, melhorando a eficiência energética. Uma das formas encontradas para reduzir os gastos de energia sem se perder o conforto térmico e visual foi a monitorização da presença dos utilizadores nas diversas divisões da casa. Neste projeto foram usados autómatos para simular as atividades dos utilizadores nos edifícios. Contudo, o comportamento dos utilizadores foi também estudado, tendo-se dividido os utilizadores de acordo com algumas características (idade, género, etc...) e de acordo com perfis de utilização. As condições exteriores de clima foram também consideradas fundamentais para se alcançar o objetivo do projeto. Um dos pontos mais importantes do projeto foi a criação de perfis de utilização da casa. De acordo com o projeto, “estando o sistema de controlo ciente dos hábitos dos utilizadores da casa, estratégias otimizadas para atingir um equilíbrio entre conforto e a eficiência energética podem ser concebidas e implementadas”. No entanto, é referido que deve haver uma aprendizagem com os utilizadores embora criteriosa porque, por vezes, os utilizadores têm más estratégias de gestão dos edifícios, referindo-se que estes casos não são predominantes. Para estabelecer perfis de utilização utilizou-se a informação recolhida por sensores, armazenada e agrupada por dias. Os dados são depois utilizados como inputs em programas de clusterização cujo objetivo é a obtenção de um padrão comportamental que servirá de base para a programação dos dias posteriores. Foram comparados resultados entre um sistema que liga o aquecimento apenas através de presença de ocupantes e outro com a variável do perfil dos ocupantes. Apesar do sistema que apenas funciona em função da presença de utilizadores ter apresentado menos gastos de energia, o sistema com a inclusão dos perfis dos utilizadores melhora significativamente o conforto dos ocupantes.

Outro estudo importante nesta área foi o promovido pelo (Eurostat 2000). Apesar do âmbito deste estudo ser diferente daquele que se pretende estudar neste trabalho, foi dada ênfase ao comportamento dos utilizadores para se atingirem maiores eficiências energéticas relacionadas com consumos de equipamentos elétricos das habitações e da sua iluminação. Este trabalho teve uma base experimental que consistiu na monitorização e na realização de inquéritos em 12 países da Europa. Foram estudados os perfis de utilização de diferentes tipos de equipamentos, incluindo os níveis de conforto dos utilizadores e a demanda de energia. A monitorização a nível europeu de energia residencial é focada em cargas eletrónicas (tecnologias de entretenimento, informação e comunicação, além de standby o consumo) e iluminação, bem como ar condicionado nos países do sul da Europa. O projeto concluiu que a tecnologia disponível, associada com o comportamento responsável dos consumidores, pode reduzir drasticamente o consumo. Um dos objetivos do projeto foi também avaliar os padrões de uso de iluminação residencial, assim como a evolução do consumo do ar condicionado residencial que está a crescer rapidamente e já é um dos principais contribuintes para a procura de pico de verão nos países mediterrânicos.

2.4.3. CONDICIONANTES DO COMPORTAMENTO DOS UTILIZADORES

De acordo com os autores (D'Oca et al. 2014), existiu a necessidade de se criarem três tipos de perfis de utilizadores no seu estudo devido a grandes diferenças comportamentais. Estes tipos foram definidos em função da frequência das ações com os edifícios: Perfil ativo, perfil médio e perfil passivo. Foi demonstrado que alguns ocupantes do edifício estão muito conscientes das suas contas de energia (aquecimento e eletricidade) e tendem a agir de maneira a reduzir a sua fatura em vez de manter um alto nível de conforto. Em contraste, os ocupantes sem tantas restrições financeiras ou consciência das implicações das suas ações na conta elétrica, tendem a interagir livremente com o sistema de controlo de aquecimento e com a abertura das janelas, de modo a melhorar as condições de conforto nas suas casas. Os resultados desta pesquisa sublinharam que as interações dos ocupantes nos sistemas do edifício estão estreitamente relacionadas com a busca de conforto pessoal, a qualidade do ar interior e com o desempenho energético global dos edifícios.

O estudo realizado por (Andersen et al. 2009), envolveu a realização de inquéritos em 933 habitações na Dinamarca na estação de arrefecimento e 636 na estação de aquecimento. A primeira fase do estudo serviu para os utilizadores caracterizarem as habitações. Seguiram-se os questionários eletrónicos onde os utilizadores respondiam sobre o estado da habitação naquele instante a quatro níveis: Estado de abertura das janelas, das proteções solares, da iluminação e do aquecimento. O estudo contou também com a informação meteorológica de 25 estações dinamarquesas com parâmetros como a temperatura do ar exterior, velocidade do vento 10 m acima do solo e a radiação solar horizontal. O estudo relacionou a abertura de janelas com a temperatura exterior. O aquecimento foi também correlacionado com a temperatura exterior e com a presença de fogões a lenha. A iluminação foi correlacionada com a radiação solar, temperatura exterior e perceção de iluminação.

De acordo com o autor do trabalho (Wei, Jones e Wilde, 2014), a bibliografia existente aponta para diversos fatores que condicionam o comportamento dos utilizadores no que diz respeito ao aquecimento dos edifícios. O autor dividiu estes fatores em quatro grupos:

- Ambientais - clima exterior e humidade relativa interior;
- Fatores relacionados com o edifício e seus sistemas - tipo de habitação, idade da habitação, tamanho da habitação, tipo de quartos, isolamento térmico da casa, tipo de sistema de aquecimento, tipo de alimentação do sistema de aquecimento e tipo de sistema de controlo de temperatura;
- Fatores relacionados com os ocupantes - idade, género, cultura/raça, classe social, tamanho da família, rendimentos familiares, tipo de casa anteriormente ocupado, proprietário/arrendatário, sensação térmica, perceção da QAI, ruído e saúde;
- Outros fatores - hora do dia, dia da semana, período de ocupação, preço do aquecimento e consciência do uso da energia.

3

METODOLOGIA

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO PROTÓTIPO

Este capítulo consiste numa descrição pormenorizada de toda a constituição do protótipo utilizado para o estudo do impacto dos ocupantes nos edifícios nZEB. O protótipo em análise, Fig. 10, situa-se no recinto da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, no parque dos estudantes, com uma área de 12x3x4.5 m² onde foi aplicado um sistema construtivo pela empresa DreamDomus que assenta nos princípios da construção modular sustentável. Os elementos estruturais são fabricados industrialmente com base em materiais e processos que lhes conferem excelente durabilidade e boas características estruturais. É utilizada uma junção da tecnologia LSF (Light Steel Frame) com Sip (Structural Insulated Panels) que confere às estruturas uma enorme rigidez e estabilidade. Este tipo de construção assegura uma construção mais confortável, cuidadosa, com melhor controlo sobre o tempo de execução e o orçamento base e um maior rigor técnico. As bases de assentamento deste tipo de construções são habitualmente em betão armado de forma a criar maior estabilidade e inercia.

A nível térmico e acústico, o sistema construtivo DreamDomus assegura o objetivo de isolamento sem comprometer a permeabilidade ao vapor de água da mesma. Usam materiais com marcação CE, ou seja, certifica que estes estão em conformidade com todas as disposições regulamentares da União Europeia que se lhe apliquem e que a requeiram. De forma a maximizar a performance do edifício no que diz respeito às permutas de calor com o exterior são utilizados os princípios da Arquitetura Bioclimática (DreamDomus).

A nível energético é usado um sistema integrado de captação e armazenamento de Energia Solar baseado num conjunto de painéis solares fotovoltaicos e baterias reutilizadas provenientes de automóveis elétricos.



Fig. 10 - Protótipo DreamDomus no recinto da FEUP.

3.1.1. DISTRIBUIÇÃO DAS ÁREAS

O protótipo é constituído por 1 piso com três áreas diferentes tal como é apresentado na (Fig. 11), sala + cozinha, quarto e casa de banho. A sala + cozinha, (Fig. 12) com 13,50 m² é constituída por 9 pontos de iluminação, duas janelas, uma porta, um disco elétrico, um exaustor, 4 tomadas, ar condicionado, sensor de CO₂ e humidade, sensor de movimento, detetor de fumo, ventilação e câmara de vigilância. Na casa de banho (Fig. 14), com 3,30 m², tem 3 pontos de iluminação, uma janela, uma tomada e sensor de movimento. No quarto (Fig. 13), com 10 m² tem duas janelas, duas tomadas, um candeeiro, 3 pontos de iluminação, ventilação, sensor de movimento, câmara de vigilância e ar condicionado.

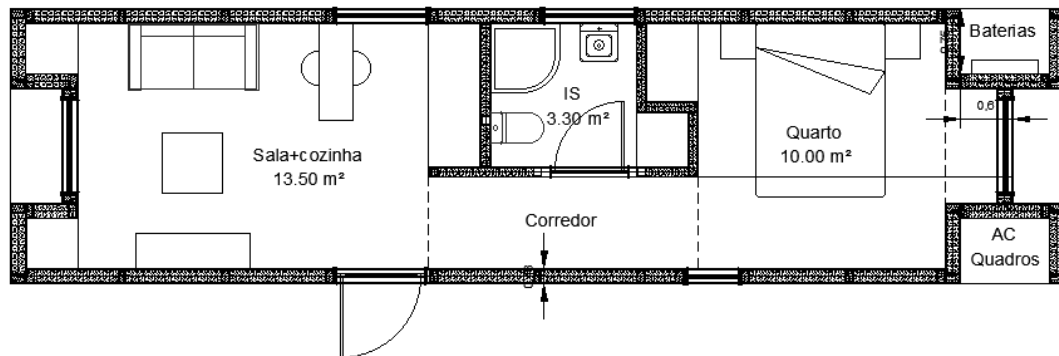


Fig. 11 - Planta em AutoCad fornecida pela empresa DreamDomus.



Fig. 12 - Fotografia da área Sala + Cozinha.



Fig. 13 - Fotografia da área da Sala + Cozinha e Quarto.



Fig. 14 - Fotografias da área da Casa de Banho.

3.1.2. PORMENOR DOS PAINÉIS DA PAREDE

As paredes são constituídas por painéis SIP que são utilizados maioritariamente em edifícios de habitação e comerciais de construção leve. Os painéis consistem num conjunto de isolante térmico intercalado (tal como no painel sandwich) por dois revestimentos estruturais de OSB, Oriented Strand Board. O isolante térmico utilizado foi EPS ($e=153\text{mm}$) e nas faces estruturais o OSB ($e=12\text{mm}$). No interior foram utilizadas placas de gesso de modo a minimizar a propagação do fogo. Por fim foi aplicado um painel de EQUITONE ($e=8\text{mm}$) na parte exterior de fibrocimento. Todas as infraestruturas técnicas, tais como energia elétrica, telecomunicações e águas, são introduzidas nos respetivos painéis na fase de fabrico, o que melhora a performance de execução em obra. A Fig. 15 e Fig. 16 apresentam os seguintes cortes das paredes:

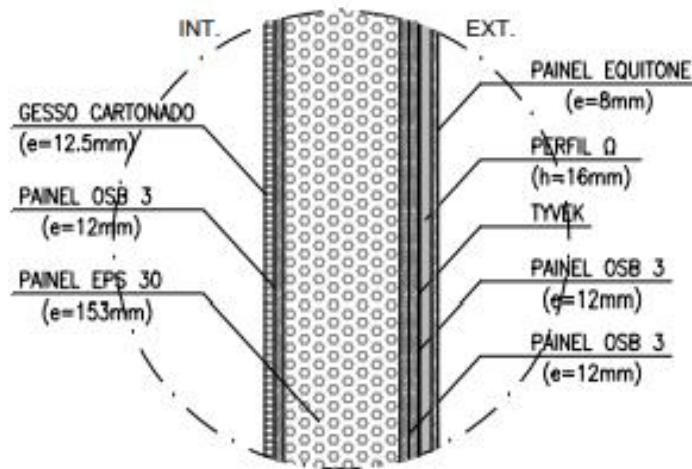


Fig. 15 - Corte vertical do painel da parede exterior fornecido pela empresa DreamDomus.

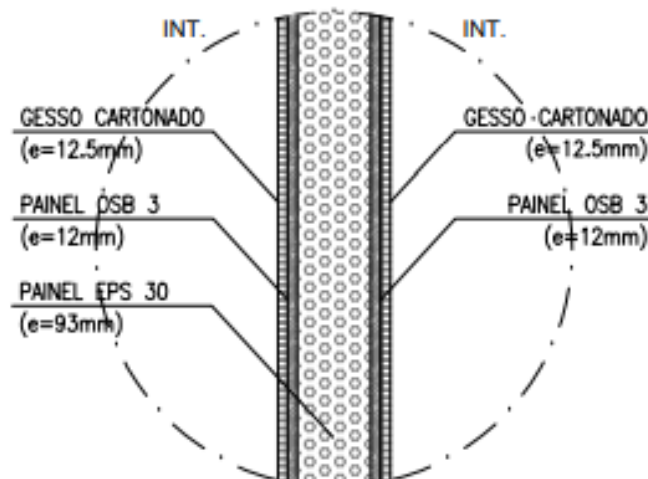


Fig. 16 - Corte vertical do painel da parede interior fornecido pela empresa DreamDomus.

Foram fornecidos também pela empresa os seguintes esquemas de ligação, (da Fig. 17 à Fig. 20) entre painéis exteriores e interiores apresentados nas figuras seguintes juntamente com uma tabela de características (Fig. 21):

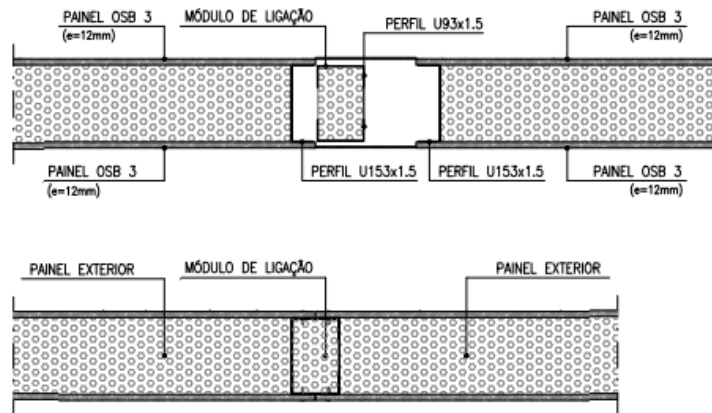


Fig. 17 - Esquema 1 de ligação das paredes exteriores.

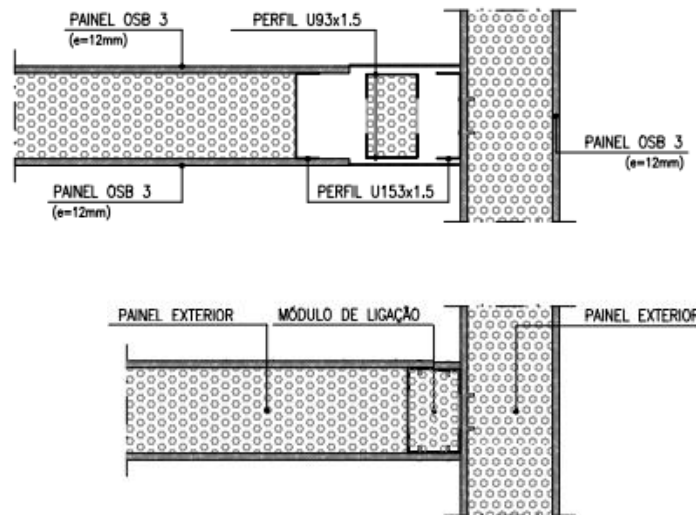


Fig. 18 - Esquema 2 de ligação das paredes exteriores.

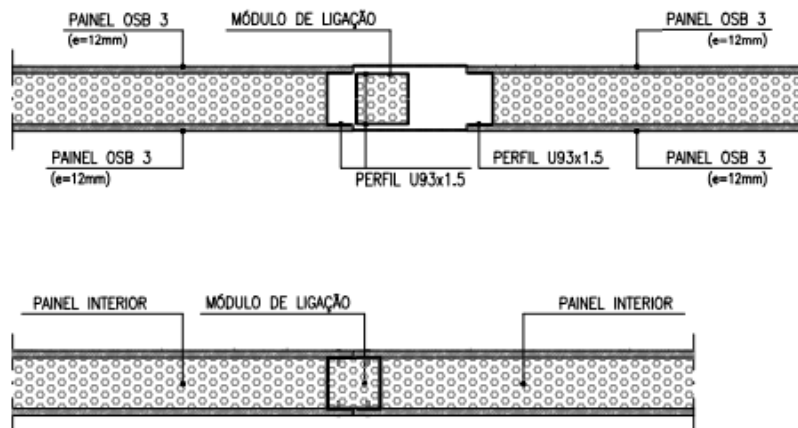


Fig. 19 - Esquema 3 de ligação das paredes interiores.

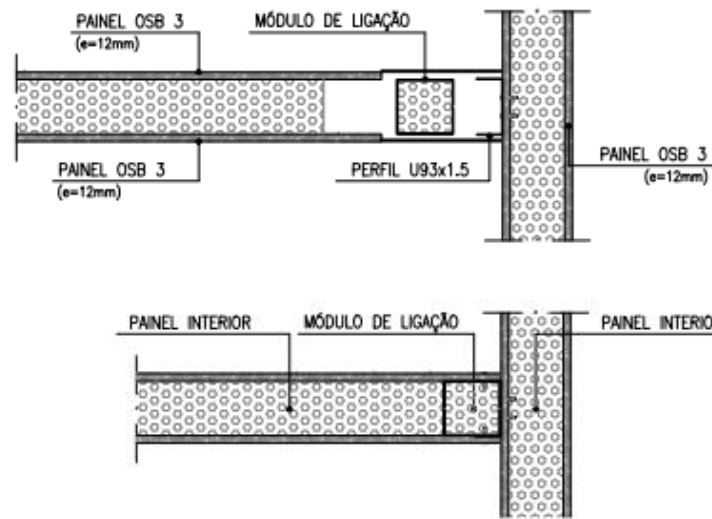


Fig. 20 - Esquema 4 de ligação das paredes interiores.

Painel de Parede Standard

Característica	Unidades	Valores
Dimensões	m	1.20x3.00x0.117
Massa volúmica	kg/m ²	20 ± 0,4
Massa do módulo	kg	70 ± 1.5
Resistência à flexão	kN.m	5.23
Resistência à compressão	kN	77
Resistência térmica	m ² .°C/W	1.37
Índice de isolamento sonoro - Rw (C; Ctr)	(dB)	41 (-5; -10)

Fig. 21 - Características do painel DreamDomus.

3.1.3. PAVIMENTO E COBERTURA

A estrutura dos pavimentos e da cobertura é composta por um conjunto de vigas em perfis LSF e é complementada por perfis transversais às vigas que permitem a execução do pavimento com painéis OSB e isolamento térmico e acústico sob estes painéis. A estrutura da cobertura é complementada pelas madres também em perfis LSF incluindo isolamento térmico e acústico em placas de EPS e OSB com aplicação de tela betuminosa de impermeabilização e tela de betume modificado com acabamento granulado não transitável. Os sistemas de piso e cobertura conferem contraventamento às ações horizontais e um bom comportamento térmico e acústico. Os tetos são forrados por baixo das vigas com placas de gesso cartonado. Nas figuras seguintes, (Fig. 22 e Fig. 23) são apresentados os cortes transversais do pavimento e da cobertura.

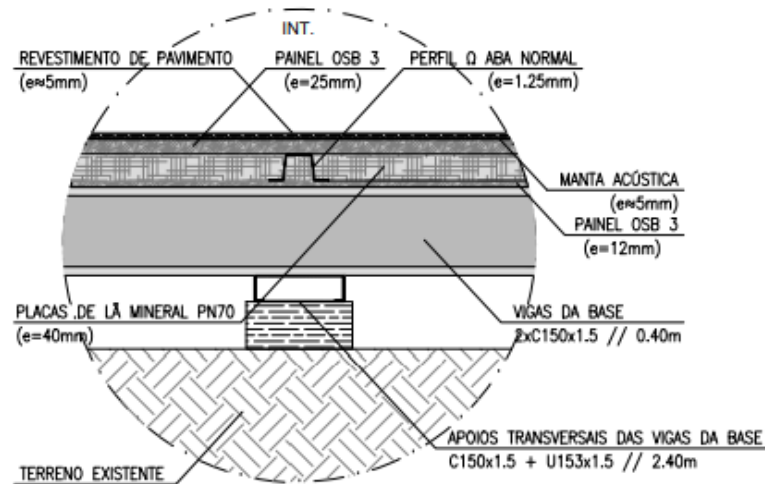


Fig. 22 - Corte transversal do pavimento.

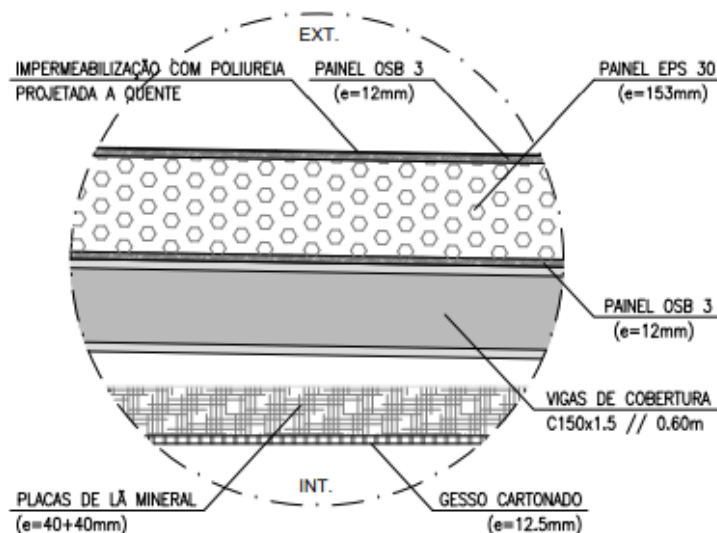


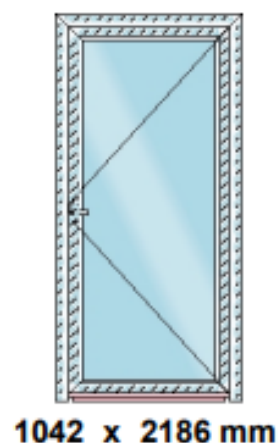
Fig. 23 - Corte transversal da cobertura.

3.1.4. PORMENOR DAS JANELAS

No protótipo em estudo existem 5 janelas, onde 2 delas têm função de portas secundárias. O vidro escolhido foi o Guardian Glass com ótimas características de isolamento filtrando o calor do sol no verão e bloqueando a saída do aquecimento no inverno. No protótipo podemos encontrar vidros com as seguintes características apresentadas no Quadro 4 ao Quadro 8.

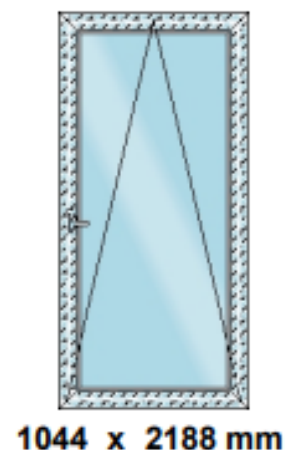
Quadro 4 - Característica e representação da porta principal de entrada do Protótipo

Série 70	Vidro: 6 Guardian Sun / 14 / 6 incolor
Permeabilidade ao ar (A)	NPD
Estanquidade à água (E)	NPD
Resistência ao Vento	NPD
Coef. Térmico Caixilho (UW)	1.53 W/m ² K
Coef. Acustico Rw (Ctr)	- db
Coef. Térmico do Vidro (Ug)	1.40 W/m ² K
Fator Solar Vidro	0.43



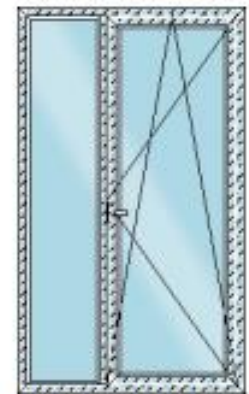
Quadro 5 - Características e representação da janela da cozinha do Protótipo.

Série 70	Vidro: 6 Guardian Sun / 16 / 6 incolor
Permeabilidade ao ar (A)	4
Estanquidade à água (E)	E1050
Resistência ao Vento	C5
Coef. Térmico Caixilho (UW)	1.47 W/m ² K
Coef. Acustico Rw (Ctr)	35 (-1, -5) dB
Coef. Térmico do Vidro (Ug)	1.30 W/m ² K
Fator Solar Vidro	0.38



Quadro 6 - Características da porta secundária da cozinha e do quarto do Protótipo.

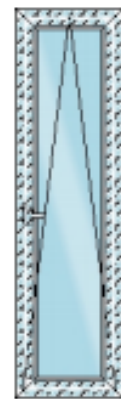
Série 70	Vidro: 6 Guardian Sun / 16 / 6 incolor
Permeabilidade ao ar (A)	4
Estanquidade à água (E)	E1050
Resistência ao Vento	C5
Coef. Térmico Caixilho (UW)	1.55 W/m ² K
Coef. Acustico Rw (Ctr)	35 (-1, -5) dB
Coef. Térmico do Vidro (Ug)	1.30 W/m ² K
Fator Solar Vidro	0.38



1288 x 2188 mm

Quadro 7 - Características da porta do corredor do Protótipo.

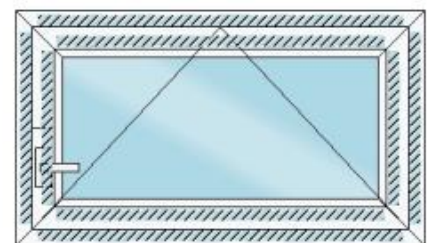
Série 70	Vidro: 6 Guardian Sun / 16 / 6 incolor
Permeabilidade ao ar (A)	4
Estanquidade à água (E)	E1050
Resistência ao Vento	C5
Coef. Térmico Caixilho (UW)	1.55 W/m ² K
Coef. Acustico Rw (Ctr)	35 (-1, -5) dB
Coef. Térmico do Vidro (Ug)	1.30 W/m ² K
Fator Solar Vidro	0.38



594 x 2188 mm

Quadro 8 - Características da janela do quarto de banho do Protótipo.

Série 70	Vidro: 6 Guardian Sun / 16 / 6 incolor
Permeabilidade ao ar (A)	4
Estanquidade à água (E)	E1050
Resistência ao Vento	C5
Coef. Térmico Caixilho (UW)	1.57 W/m ² K
Coef. Acustico Rw (Ctr)	35 (-1, -5) dB
Coef. Térmico do Vidro (Ug)	1.30 W/m ² K
Fator Solar Vidro	0.38



1044 x 600 mm

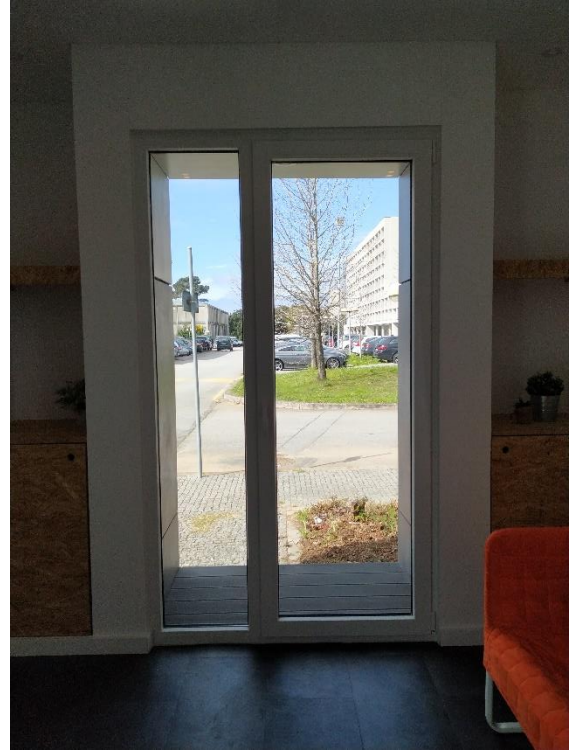


Fig. 24 - Fotografia das Janelas duplas do quarto e da sala de estar.



Fig. 25 - Fotografia das Janelas da casa de banho e da porta de entrada.

3.1.5. ENERGIAS RENOVÁVEIS

As energias renováveis apresentam-se como o futuro energético, nomeadamente a energia fotovoltaica, que com o seu contínuo crescimento e a sua versatilidade, merece especial destaque. A energia fornecida ao protótipo é obtida através de 12 painéis fotovoltaicos AS-6P30 Polycrystalline Module da Amerisolar, Fig. 26. Este tipo de modelos apresentam alta eficiência de conversão do módulo até 17,52% usando células solares de alta eficiência e avançada tecnologia de fabricação, baixa degradação e excelente desempenho sob alta temperatura e baixas condições de luminosidade, estrutura de alumínio robusta que garante que os módulos suportem cargas de vento até 2400Pa e neve carrega até 5400Pa, alta confiabilidade contra condições ambientais extremas (passando névoa salgada, testes de amônia e granizo), resistência à degradação induzida potencial (PID) e tolerância de potência positiva de 0 a 3%.

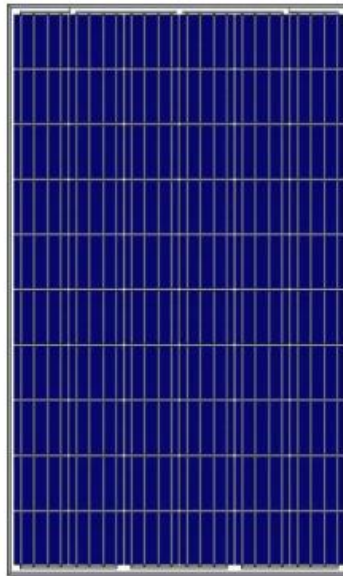


Fig. 26 - Exemplo de painel fotovoltaico fornecido pela DreamDomus.

Características elétricas de STC (Standard Test Conditions):

$E= 1000\text{W}/\text{m}^2$; $T_c=25^\circ\text{C}$; $AM=1,5$

Potência Nominal (P_{max})	270 W
Voltagem de circuito aberto (V_{oc})	38.4 V
Corrente de curto-circuito (I_{sc})	9,06 A
Tensão na Potência Nominal (V_{mp})	31,1 V
Corrente com Potência Nominal (I_{mp})	8,69 A

Tensão máxima do sistema	1000V
Classificação máxima do fusível da série	15 A
Classificação de resistência ao fogo	Class C
Desempenho do modulo do Fogo (For USA)	Type 1
Peso	18,5 kg
Dimensão	1640 x 992 x 40mm

3.1.6. BATERIA

Para o armazenamento da energia elétrica proveniente do painel fotovoltaico, o protótipo é composto por uma bateria a lítio, Fig. 27, reutilizada a partir de baterias de automóveis elétricos. As principais vantagens da introdução de soluções de armazenamento em habitações com sistemas PV são permitir a estabilização do diagrama de carga, a redução de picos de produção, mas também a diminuição das trocas de energia com a rede. A bateria utilizada tem uma potência de 4750 W na sua carga máxima.



Fig. 27 - Fotografia da Bateria do Protótipo.

3.1.7. PISO RADIANTE

Para o piso radiante do protótipo é elétrico e foi utilizado um filme de aquecimento da ILO Technology com a referência: ILO-0245585S1RC1-PRMB apresentado na Fig. 28.

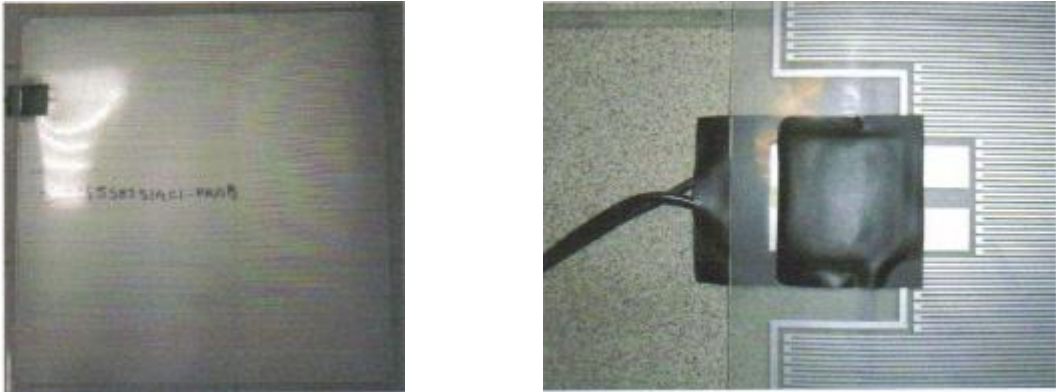


Fig. 28 - Filme de aquecimento do protótipo.

3.1.8. CLIMATIZAÇÃO

O sistema de climatização do protótipo em estudo é constituído por dois aparelhos de ar condicionado da Solius Intelligent Energy, como é apresentado na Fig. 29, instalados na sala/cozinha e no quarto. Este tipo de aparelho de ar condicionado reversível com tecnologia DC Inverter é destinado à climatização dos espaços interiores através da insuflação de ar quente ou ar fresco, com um controlo preciso da temperatura do ar. O compressor DC Inverter adapta a sua potência de funcionamento às necessidades de cada momento, de modo a manter constantes as condições ideais de conforto com o mínimo consumo de energia. O aparelho contém um visor LED na unidade interior com possibilidade de ativar e desativar a informação através do comando remoto, um filtro de partículas de limpeza fácil retirando o painel frontal, auto Airswing vertical que cria uma distribuição uniforme do ar, defletores de superfície curva e versatilidade nos vários modos de funcionamento com um modo automático, arrefecimento, aquecimento, desumidificação e apenas ventilação.



Fig. 29 - Aparelho de ar condicionado do Protótipo.

3.1.9. VENTILAÇÃO

Para o bem-estar e saúde dos seus moradores, a renovação de ar é necessária numa habitação, assim como para a conservação do edifício e mobiliário. O sistema de ventilação duplo fluxo permite assegurar uma ventilação mecânica geral e permanente. O seu funcionamento consiste na entrada de ar novo no corredor pela boca de insuflação através de um ventilador de insuflação pela rede de condutas. Um outro ventilador extrai o ar viciado da sala/cozinha e quarto, pelas bocas de extração, através da rede de condutas. As duas redes de condutas cruzam-se, sem misturar o ar, no permutador de calor que permite recuperar as calorias do ar viciado extraído da habitação e restituí-las ao ar introduzido. Dois filtros asseguram a filtragem do ar insuflado e do ar extraído antes da sua passagem no permutador.

O grupo possui diversas velocidades de funcionamento controladas através do interruptor ou comando:

- 1ª velocidade: velocidade normal (sempre em funcionamento).
- 2ª velocidade (GV1): Utilizar unicamente em habitações de 1 a 4 divisões principais (velocidade de extração rápida).
- 3ª velocidade (GV2): Utilizar unicamente em habitações de 5 ou mais divisões principais (velocidade de extração rápida), o que não é o caso.

As características do sistema de ventilação VMC duplo fluxo da TRIA instalado no protótipo (Fig. 30) são as seguintes:

- Alimentação: 230V, aproximadamente 50HZ - Intensidade: 0,5A
- Potências ponderadas: GV1: 46,50W-Th-C, GV2: 48W-Th-C
- Débito global: PV: 135 m³/h - GV1: 200m³/h - GV2: 240 m³/h
- Nível sonoro: < 37 db (A)
- Dimensões do grupo: 685x661x348 mm
- Peso: 20 KG.



Fig. 30 - Sistema de ventilação mecânica do protótipo.

3.1.10. SENSORES

3.1.10.1. Sensor de CO₂, temperatura e humidade relativa interior

O dispositivo é um sensor combinado para o CO₂, temperatura e medição da humidade (humidade relativa). Foi concebido para monitorizar a qualidade do ar em salas de conferências/reuniões, escritórios, escolas /jardins de infância, casas passivas ou de baixo consumo energético e salas de estar sem ventilação controlada. Este dispositivo não opera manualmente sendo o LED e o botão de pressão acessíveis quando a tampa é removida. Se necessário, o botão de pressão pode ser alcançado com uma chave de fenda fina através da divisão superior. As principais vantagens da utilização deste dispositivo é a medição combinada de temperatura, humidade relativa e teor de CO₂ e a fonte de alimentação via conexão de barramento, sem necessidade de energia elétrica.

Em seguida são apresentados os seguintes dados técnicos:

- Temperatura de funcionamento admissível: 0 °C... + 45°C
- Potência de tensão de barramento: Max. 12 mA
- Classe de proteção: III de acordo com EN 60730-1
- Classificação de proteção: IP 20 de acordo com EN 60529
- Dimensões do equipamento: 74 x 74 x 30.8 (mm)

Gamas de medição:

- CO₂ 300 – 9999 ppm
- Humidade: 1 – 100 %
- Temperatura: 0 – 40 °C

Precisão:

- CO₂: 300-1000 ppm: +/- 120 ppm;
 - 1000-2000 ppm: +/- 250 ppm;
 - 2000-5000 ppm: +/- 300 ppm
- Humidade Relativa: +/- 5 %
- Temperatura: +/- 1 °C (dependendo da instalação).

A imagem seguinte, Fig. 31, apresenta um dos dispositivos instalados no protótipo que mede o CO₂, a temperatura e a humidade relativa, na Sala/Cozinha, no Corredor, na Casa de Banho e no Quarto:



Fig. 31 - Sensor de CO₂, temperatura e humidade do protótipo (Schneider Electric).

3.1.10.2. Sensor de Humidade Relativa Exterior

O SHO100, Fig. 32, é um sensor ativo que mede a humidade relativa (HR) e converte em corrente elétrica de 4 a 20 mA ou nível de tensão de 0 a 10 V. O sensor contém uma unidade completa, incluindo um flange de montagem de alumínio com o elemento sensível e um amplificador montado num sítio separado. O SHO100-T está equipado com sondas passivas de temperatura NTC.

Informações Técnicas:

- Tempo constante <15s
- Precisão + / - 2% hora
- Faixa de operação 0/95 Hr
- Sensor de proteção de filtro bronze
- Classe de proteção IP65



Fig. 32 - Sensor de humidade exterior utilizado no protótipo (Schneider Electric).

3.1.10.3. Sensor de Luminosidade, Crepúsculo e Temperatura exterior

Dependendo do tipo de sensor, os dados climáticos são recebidos e convertidos em sinais analógicos de tensão (0-10 V) com três transdutores de medição: sensor de Luminosidade (art. no. MTN663593), sensor crepuscular (art. no. MTN663594) e sensor de temperatura (art. no. MTN663596). Estes dispositivos, Fig. 33, fornecem também o abastecimento necessário de tensão para operar o sensor. Os sensores são equipados com membranas climáticas para evitar a acumulação de humidade na caixa.

Informação técnica:

- Tensão de alimentação: 24 V CC (DC 15-30 V);
- Saída: DC 0–10 V;
- Terminais de conexão: Terminais de parafuso, máx.2,5 mm²;
- Temperatura ambiente: -30 a +70 ° C;
- Tipo de proteção: IP 65;
- Cabo de entrada: através do encaixe de parafuso M12;
- Cabo recomendado: 3 x 0,25 mm²;
- Comprimento do cabo: max. 100 m;
- Posição de montagem: qualquer, recomendação: M12 parafuso de montagem na parte inferior;
- Método de fixação: fixação do parafuso;
- Dimensões: 64x58x35 mm;
- Peso: aprox. 0,2 kg.

Sensor de Luminosidade:

- Faixa de medição: 0 a 60 kLux, linear;
- Consumo de energia: aprox. 5 mA.

Sensor crepuscular:

- Faixa de medição: 0-255 Lux linear
- Consumo de energia: aprox. 5 mA

Sensor de temperatura:

- Faixa de medição: -30 a +70 ° C, linear;
- Consumo de energia: aprox. 3 mA.

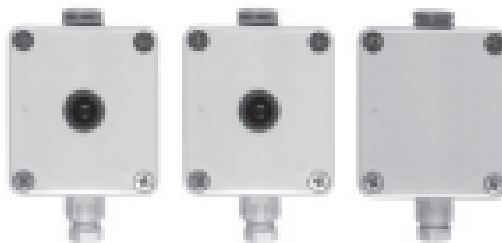


Fig. 33 - Sensor de Luminosidade, Crepúsculo e Temperatura exterior (Schneider Electric).

3.1.11. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

O combi-sensor climático, Fig. 34, inclui um sensor de vento, sensor de precipitação, sensor crepuscular e três sensores de luminosidade (Este, Sul, Oeste). Com recetor DCF77 integral, antena giratória de 45 ° e aquecedor integrado (proteção contra o descongelamento e condensação). Adequado para instalação externa em parede ou poste. O sensor está conectado a uma estação meteorológica REG-K 4-gang.

Os dados meteorológicos são avaliados na estação meteorológica. As fontes de alimentação necessárias são fornecidas pela estação meteorológica com a fonte de alimentação conectada REG.

- Fonte de alimentação: AC 24 V (+/- 15%);
- Consumo de energia: máx. 600 mA (com aquecimento);
- Sensores: 6;
- Velocidade do vento: 1 ... 40 m / s (0,5 m / s);
- Brilho: 0 ... 110 klux (+/- 10%);
- Crepúsculo 0 ... 250 lux;
- Tipo de proteção: IP 65 quando instalado;
- Faixa de temperatura: - 40 ° C ... + 60 ° C (sem congelamento);
- Método de fixação: suporte de montagem;
- Dimensões: 130x200 mm (ØxH).



Fig. 34 - Estação meteorológica (Schneider Electric).

3.1.12. ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

A bomba de calor sanitária Solius Ecotank Super, Fig. 35, aproveita o efeito termodinâmico para aquecer a água de forma muito eficiente, económica e amiga do ambiente. Com uma instalação simples e ideal para reabilitação, silencioso, com moderno controlador tátil (touch screen) com programação horária. Contém a função anti-legionella, um acumulador em aço inox.



Fig. 35 - Bomba de calor sanitária utilizada no protótipo.

3.1.13. DOMÓTICA

As principais preocupações quando se planeia a construção ou reabilitação de uma habitação são a segurança, o conforto, a eficiência energética e naturalmente a capacidade de evolução das instalações, de modo a estar sempre atual. Estes objetivos não são possíveis sem a instalação de um sistema de domótica inteligente, evolutivo e flexível. A segurança e o conforto, estão sempre no topo das nossas preocupações por isso uma solução de domótica devidamente concebida, deve responder a estas necessidades, interagindo entre os utilizadores e as instalações de forma inteligente e ativa. Os equipamentos e as soluções implementadas no protótipo em estudo são baseados no protocolo KNX pela sua robustez e fiabilidade de funcionamento. No caso concreto do protótipo, utilizando a tecnologia KNX podemos controlar:

- Sistemas de Segurança;
- Estores e persianas;
- Iluminação;
- Gestão de energia;
- Piso Radiante;
- Sistemas de Climatização e Ventilação;

- Controlo remoto;
- Controlo áudio/vídeo;
- Acesso e Controlo Remoto das funcionalidades, via internet.

3.1.13.1. Sistema de Segurança

Os painéis de controlo da INTEGRA, utilizados no protótipo, possibilitam a criação de um sistema que combina as funções de alarme e automação habitacional. Operando também no protocolo KNX, o sistema permite que os usuários configurem os elementos de automação criando assim um sistema de funcionalidades mais extenso.

A facilidade de uso torna-se particularmente importante no caso deste tipo de sistemas integrados. Foi com estas soluções em mente que o teclado táctil INT-TSI foi desenvolvido, o que permite explorar completamente o potencial dos sistemas inteligentes e permite utilizar até as funções mais complexas de uma forma simples e intuitiva. A grande variedade de opções de controlo nos painéis torna-se útil nos sistemas inteligentes de construção. O teclado do sensor de touch INT-KSG, assim como os teclados touchscreen INT-TSG, INT-TSH e INT-TSI oferecem uma solução conveniente para controlar o sistema INTEGRA dispositivos de automação e dispositivos KNX. Com a facilidade de personalização dos menus disponível, é possível, usando um único comando, selecionar cenários de iluminação, levantar os estores ou abrir a porta, por exemplo. Na Fig. 36 é apresentado o painel de controlo do protótipo da DreamDomus.

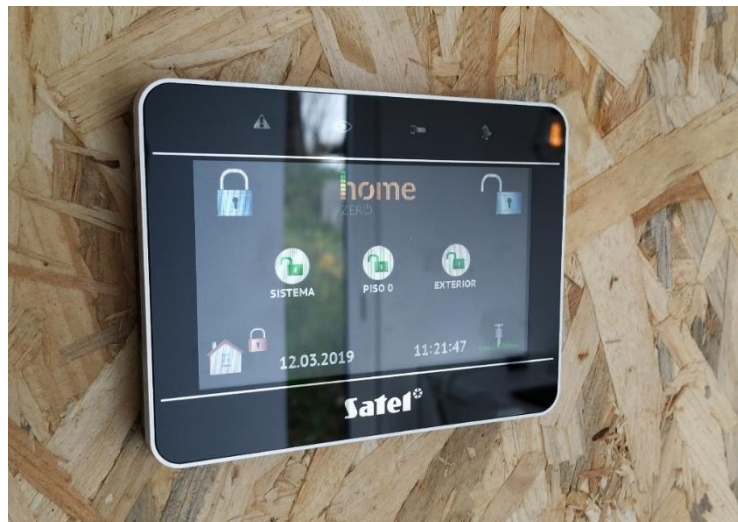




Fig. 36 - Fotografia do painel de sistema de segurança utilizado no protótipo.

O ícone  serve para armar o sistema de segurança da casa desligando todo o sistema interior, bloqueando as portas e ativando o alarme.

O ícone  serve para desarmar o sistema de segurança da casa desativando o alarme e desbloqueando as portas.

O sistema de vigilância de vídeo/imagem da HIKVISION, (Fig. 37) fornece ao site que controla a instalação remotamente frames a cada segundo de imagens da sala/cozinha e do quarto. É possível aceder às imagens de segurança a partir da plataforma online.

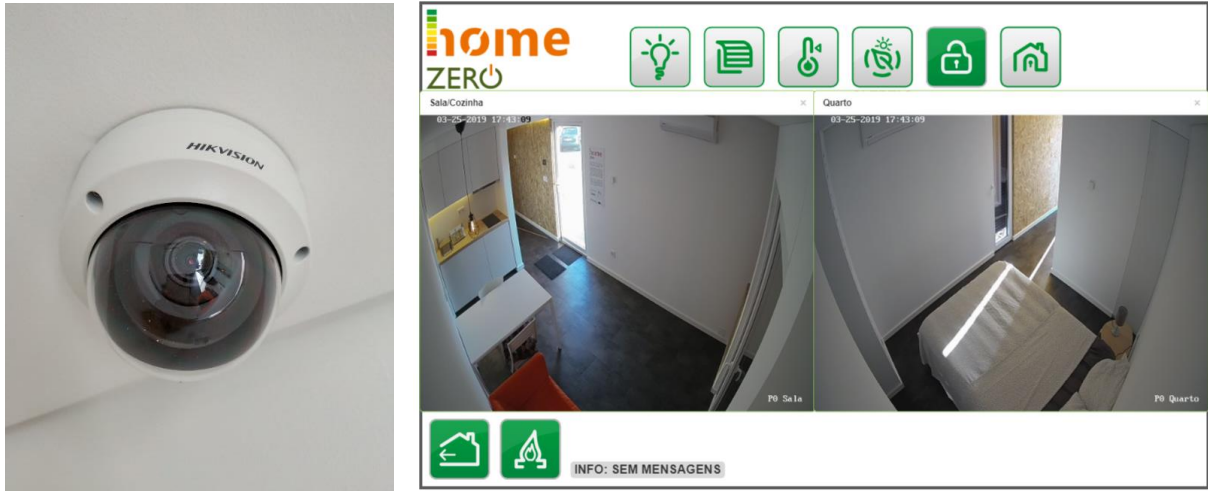


Fig. 37 - Sistema de vigilância de imagem do protótipo.

3.1.13.2. KNX

A plataforma online do protótipo pode ser acedida através de um computador ou por um smart phone, via internet mesmo estando longe de casa. Para além das funcionalidades apresentadas anteriormente como a iluminação, os estores, as câmaras de vigilância, o sistema de ventilação e climatização e segurança é possível também uma melhor gestão da energia da casa. O site fornece-nos gráficos em tempo real da potência fornecida através dos painéis fotovoltaicos e da potência consumida pela casa apresentando avisos de poupança de energia quando a energia consumida é superior à energia fornecida. Informação sobre o estado da bateria também é apresentada estimando a duração disponível da mesma dependendo do consumo realizado. Na Fig. 38, é-nos apresentado o painel principal de acesso à casa remotamente:

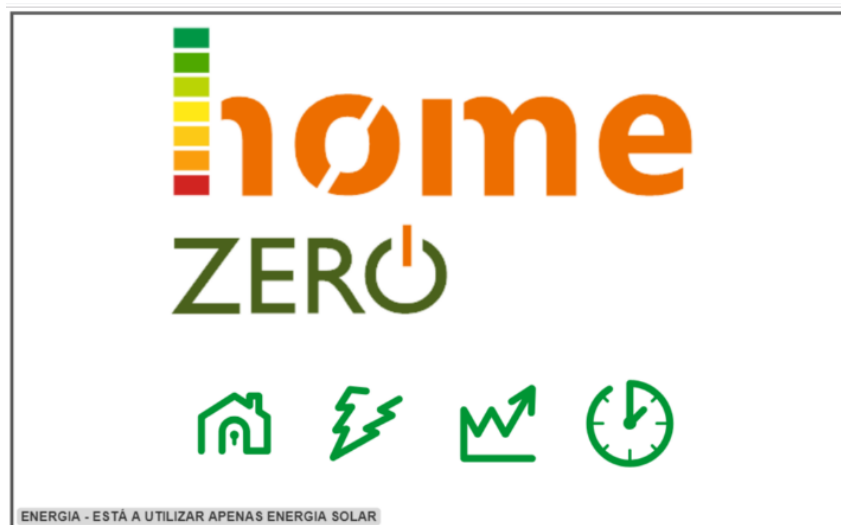



Fig. 38 - Página principal de controlo remoto do protótipo.

O primeiro ícone  dá-nos acesso a um novo painel onde é possível alterar todo o sistema do interior da casa, desde a iluminação, a passagem de energia pelas tomadas, o ar condicionado, a ventilação VMC, o piso radiante, os níveis de CO₂ e de humidade e o controlo de segurança. Informações e alertas vão aparecendo consoante o consumo de energia e capacidade da bateria. É utilizada uma sinalização de cor verde e vermelha que simbolizam a ativação ou não ativação de um sistema. Na Fig. 39 apresentada a seguir, podemos observar o exemplo do painel de iluminação e de energia das tomadas elétricas onde é possível obter informação sobre os gastos de potência em cada segundo em (kW) no contador do lado direito.

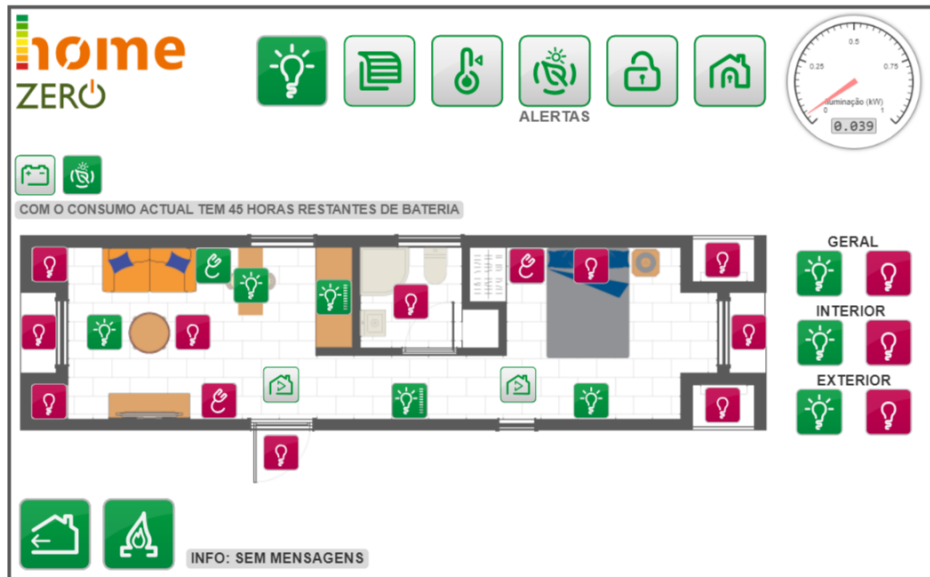


Fig. 39 - Painel de controlo da iluminação do protótipo.

Na seguinte Fig. 40 podemos observar o painel de controlo dos estores onde é possível escolher a percentagem de fecho dos mesmos. Quando os estores estão em movimento temos informação sobre a quantidade de energia dispendida em (kW).

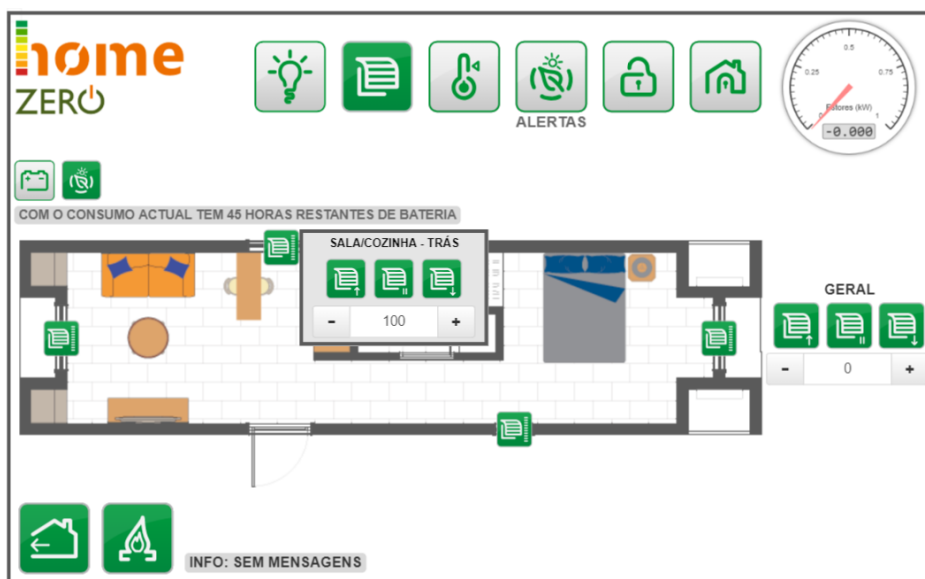


Fig. 40 - Painel de controlo dos Estores do protótipo.

Na próxima imagem, Fig. 41, é apresentado o painel de climatização onde se podem alterar três componentes diferentes, a temperatura e a potencia do ar condicionado, a ativação da VMC e a ativação do piso radiante tanto para a zona da sala/cozinha como para o quarto. Nos contadores de energia do lado direito podemos obter informação sobre a energia utilizada para o piso radiante, para o ar condicionado e para a ventilação mecânica em (kW).



Fig. 41 - Painel de controlo da Climatização do protótipo.

No painel seguinte, Fig. 42, podemos obter informações sobre os níveis de CO₂ e de humidade relativa, da temperatura do protótipo, da velocidade do vento exterior, da incidência de radiação e quantidade de luz.

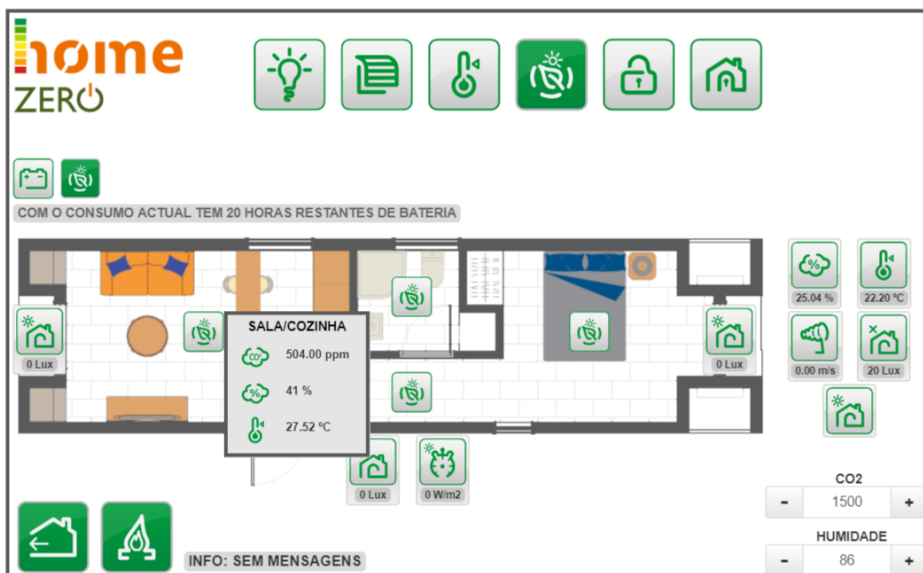


Fig. 42 - Painel de informação sobre o ambiente.

Por último, o painel de segurança, Fig. 43, onde se tem acesso às imagens do sistema de vigilância das câmaras de vídeo da sala/cozinha e do quarto e se pode ativar o sistema de segurança das portas.

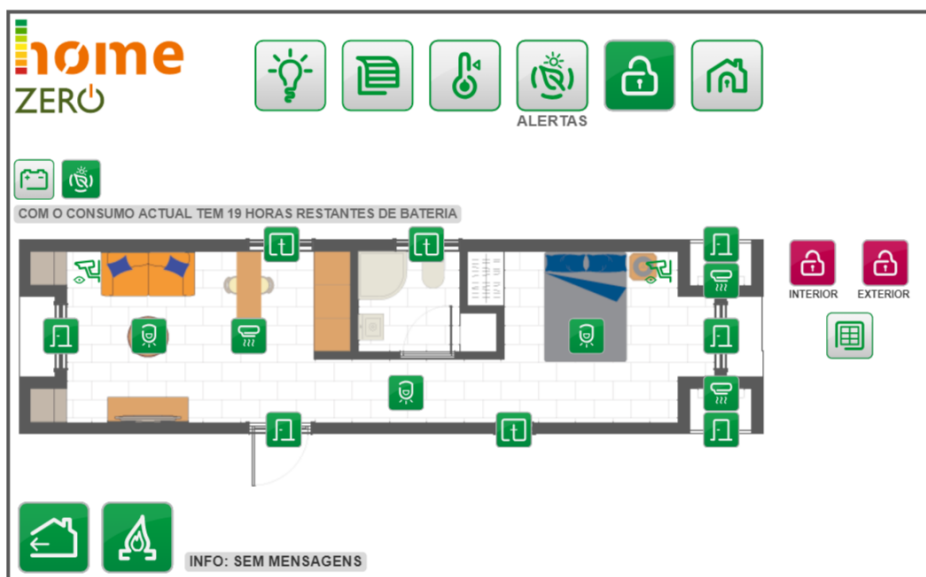


Fig. 43 - Painel de Segurança do protótipo.

O segundo ícone ⚡ dá-nos acesso a um painel de Energia onde existe um balanço entre a energia fornecida, a energia armazenada e a energia da rede e a energia utilizada na casa e no carro elétrico, tal é apresentado na Fig. 44.

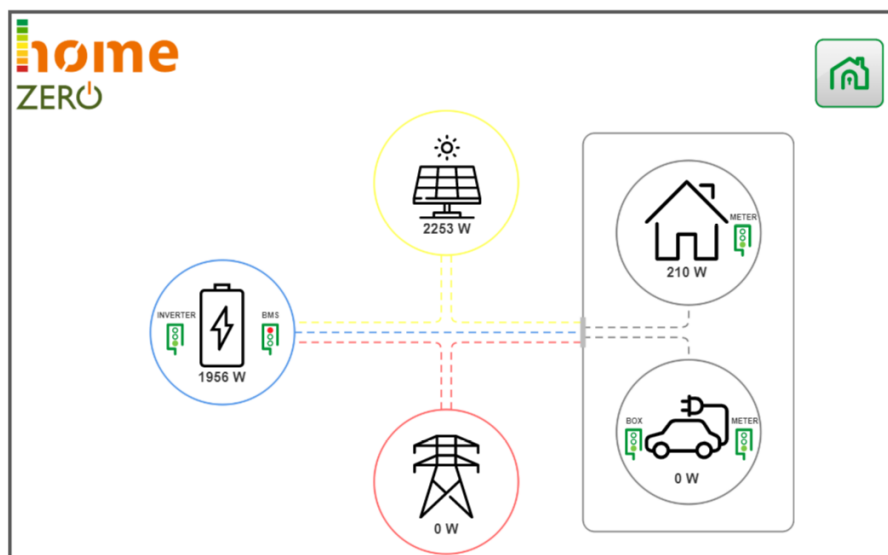


Fig. 44 - Painel de informação energética.

Cada um dos símbolos da imagem anterior correspondem a diversas informações energéticas provenientes de diferentes fontes. Se seleccionar a imagem do painel fotovoltaico, aparece num separador ao lado informação sobre a sua potência em tempo real e em (kW) tal como na Fig. 45.



Fig. 45 - Potência do painel fotovoltaico.

Por outro lado, ao selecionar a imagem da bateria, para além de obter informação em tempo real sobre a carga em, a capacidade em (Wh), a potência em (W), a corrente (A), o tempo de carga e descarga em minutos, a voltagem, a temperatura máxima e mínima em ($^{\circ}\text{C}$), tal como é apresentado na Fig. 46, também é possível, carregando nos semáforos do lado esquerdo e do lado direito, analisar um diagnóstico de avisos e erros do inversor e do sistema de gestão da bateria respetivamente apresentado nas Fig. 47 e Fig. 48.

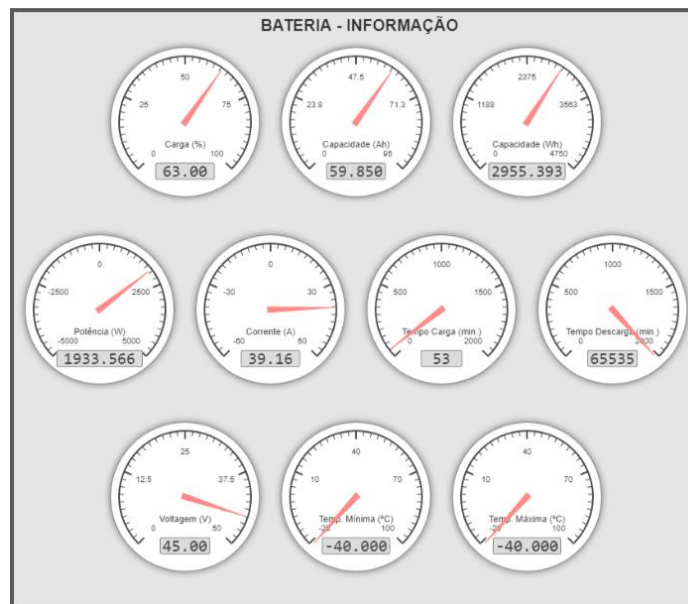


Fig. 46 - Informação sobre a bateria em tempo real.



Fig. 47 - Diagnóstico do inversor da Bateria do protótipo em tempo real.

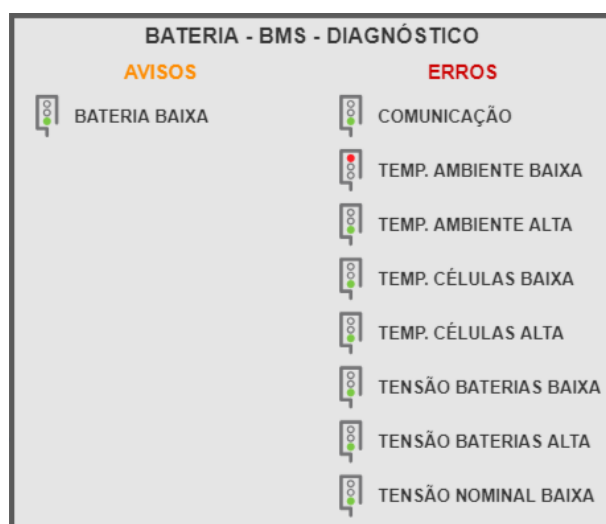


Fig. 48 - Diagnóstico do sistema de gestão da Bateria em tempo real.

A informação obtida de fornecimento de energia através da rede e da utilização do carro elétrico é nula pois o protótipo não está ligado à rede e o dispositivo de carregamento dos carros elétricos também não está a ser utilizado.

Por último, falta a parcela da energia consumida pela casa a qual apresenta, em tempo real, o consumo de todos os dispositivos do protótipo Fig. 49. É fornecida informação sobre o consumo do geral, da iluminação, dos estores, do aquecimento, do piso radiante, da ventilação mecânica, das águas quentes sanitárias, do equipamento ativo, dos eletrodomésticos e dos sensores que inclui a luminosidade, o vento, a chuva, a radiação, a elevação, o azimute e o crepuscular.

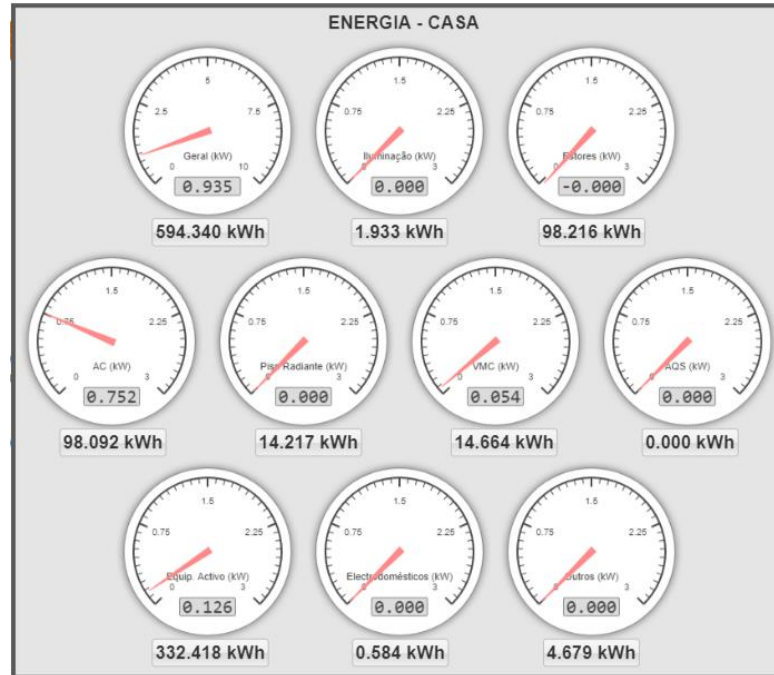



Fig. 49 - Informação em tempo real a energia utilizada pelos equipamentos da casa.

O terceiro ícone  fornece gráficos diários de energia e de potência das diferentes componentes do protótipo: geral, estores, iluminação, equipamento ativo, ar condicionado, piso radiante, águas quentes sanitárias, ventilação mecânica, eletrodomésticos, outros circuitos, bateria, rede, casa e carregador dos carros elétricos.

É avaliada também a luminosidade a este, sul e oeste, o vento, a chuva, a temperatura exterior, a humidade exterior e a radiação. No corredor, na sala/cozinha, na casa de banho e no quarto são analisados graficamente os níveis CO₂, de humidade e a temperatura. A velocidade da ventilação mecânica e o bypass da ventilação mecânica são outras das componentes.

Para melhor entendimento dos gráficos gerados foi seleccionado um dia como exemplo de modo a tornar o conteúdo menos extenso.

3.1.13.3. Exemplo de Análise de Dados

Para o exemplo seguinte foi escolhido o dia 28 de março, um dia de sol e temperaturas elevadas onde os gráficos obtidos são apresentados desde a Fig. 50 à Fig. 76.

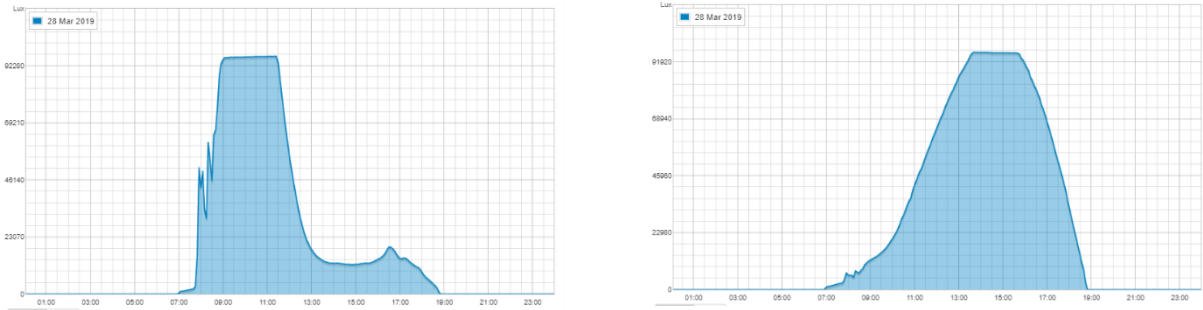


Fig. 50 - Gráfico da Luminosidade Este e Sul.

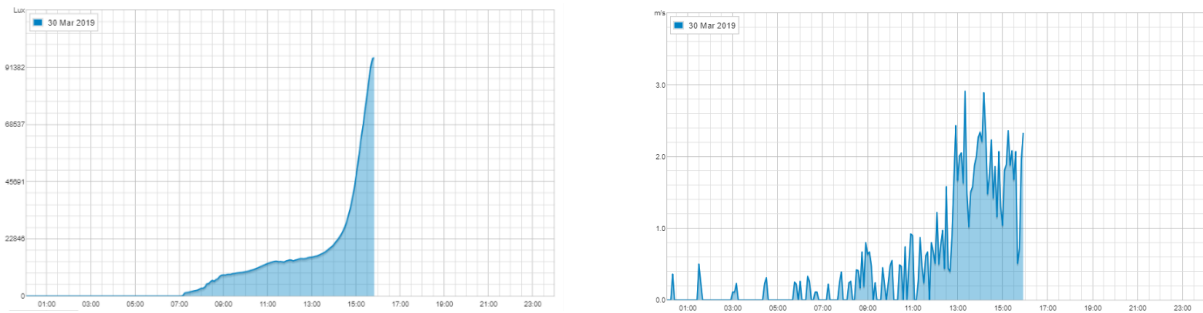


Fig. 51 - Gráfico de Luminosidade Oeste e da velocidade do Vento.

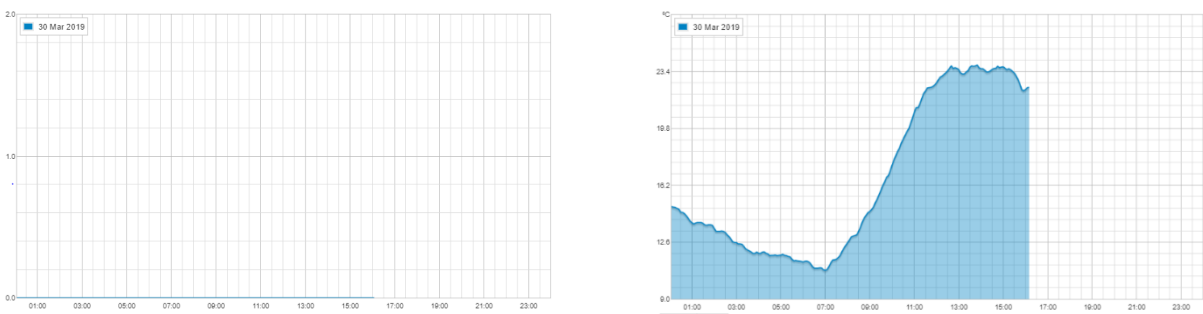


Fig. 52 - Gráfico de Chuva e temperatura exterior.

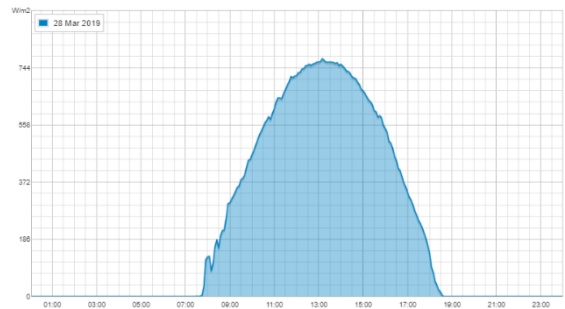
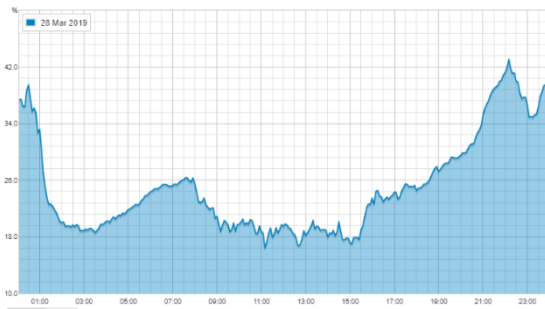


Fig. 53 - Gráfico de umidade relativa exterior e radiação.



Fig. 54 - Gráfico do CO₂ e da Umidade relativa do corredor.

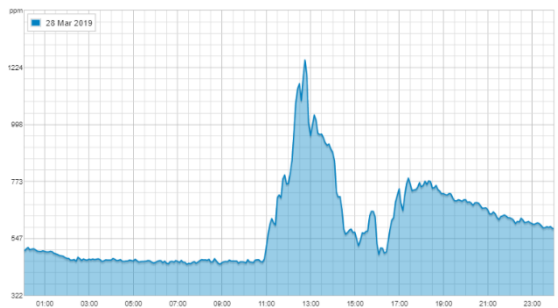
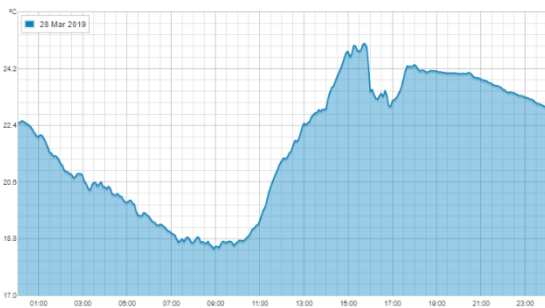


Fig. 55 - Gráfico da temperatura do Corredor e o CO₂ da Sala/cozinha.

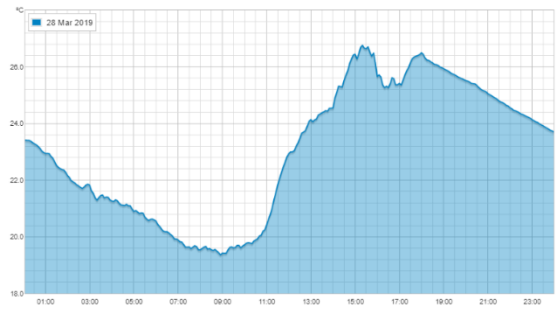
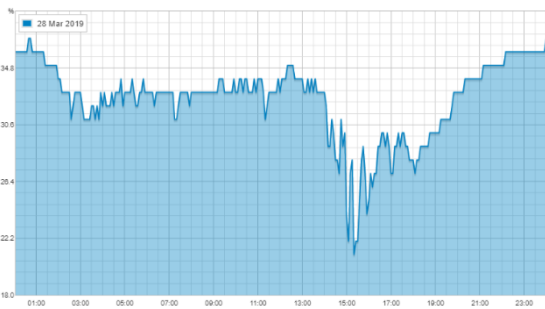


Fig. 56 - Gráfica da umidade relativa e da temperatura da Sala/Cozinha.

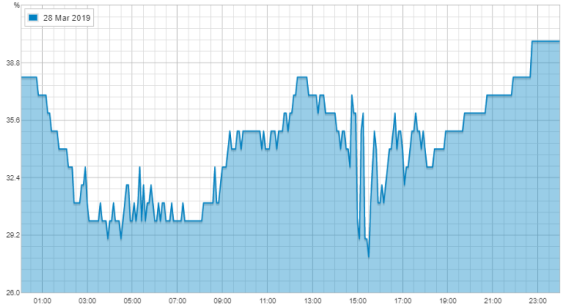
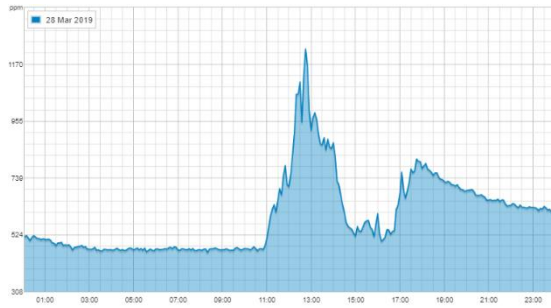


Fig. 57 - Gráfico CO₂ e umidade relativa do WC comum.

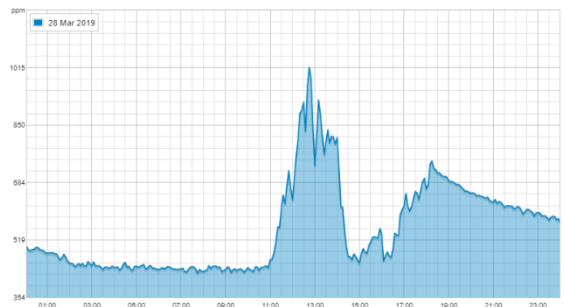
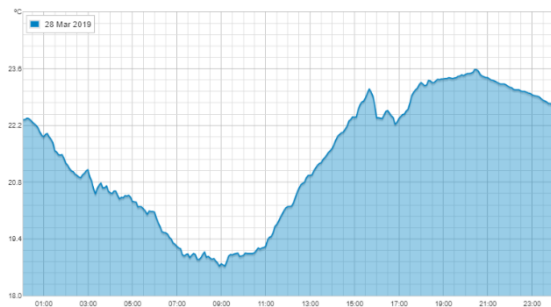


Fig. 58 - Gráfico da temperatura do Corredor e do CO₂ da sala/cozinha.



Fig. 59 - Gráfico da temperatura do WC comum e do CO₂ do quarto.

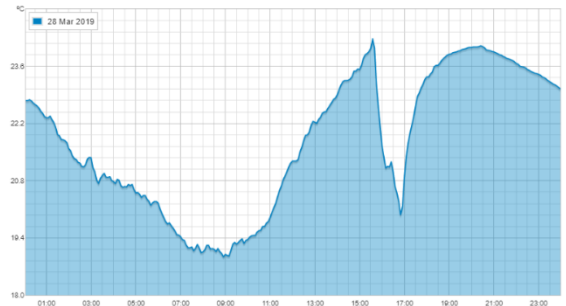


Fig. 60 - Gráfico da Umidade relativa e da Temperatura do Quarto.

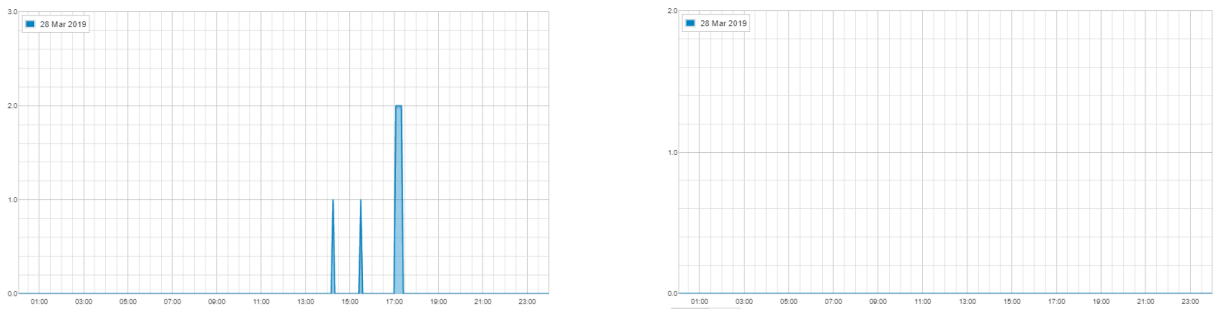


Fig. 61 - Gráfico da velocidade e do Bypass do VMC.

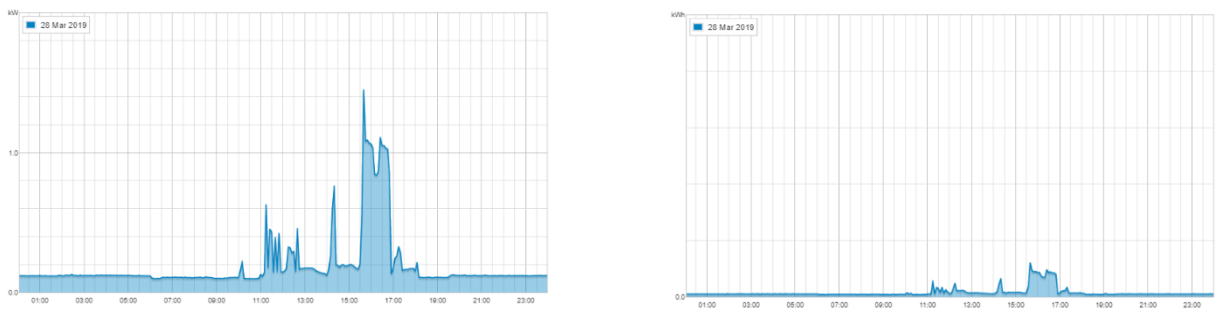


Fig. 62 - Gráfico da potência e da energia Geral.

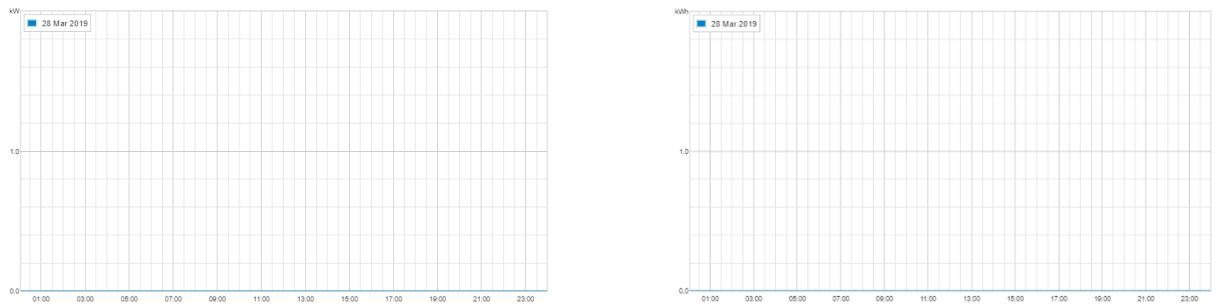


Fig. 63 - Gráfico da potência e da energia do carregador VE.

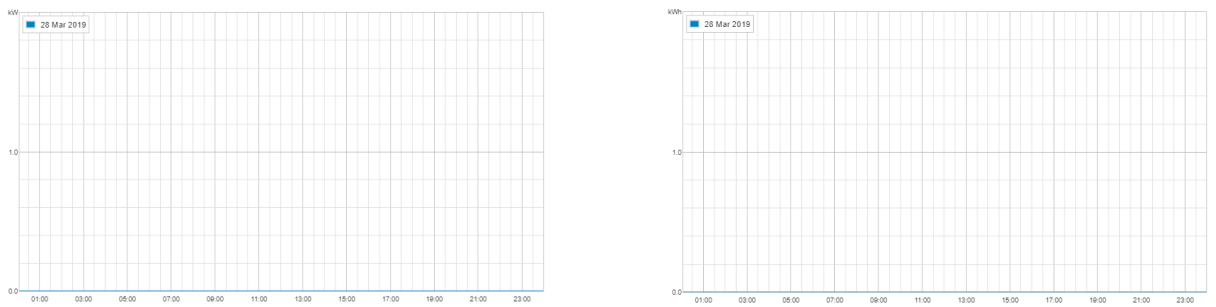


Fig. 64 - Gráfico da potência e da energia da Rede.

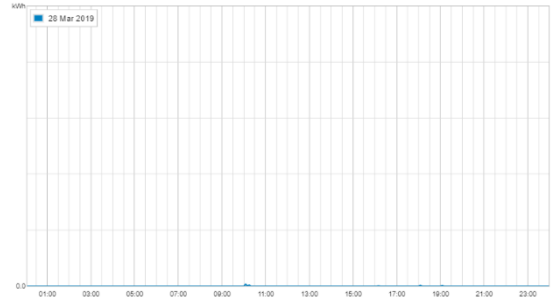
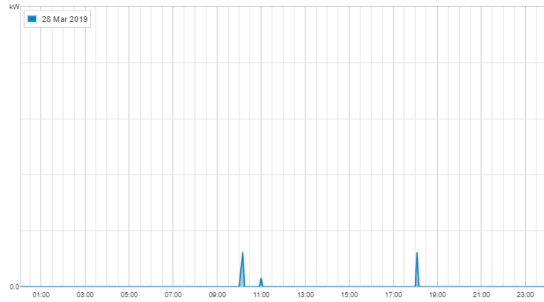


Fig. 65 - Gráfico da potência e da energia dos Estores.

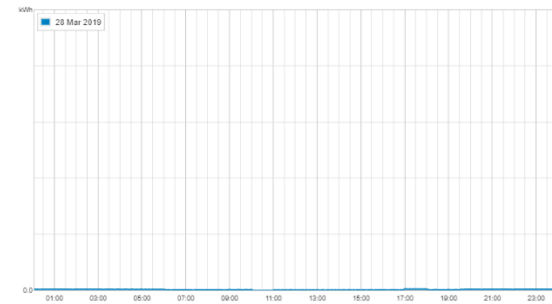
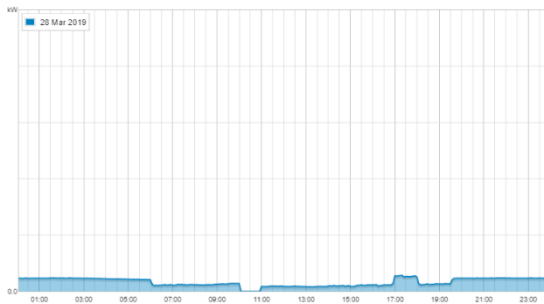


Fig. 66 - Gráfico da potência e energia da Iluminação.

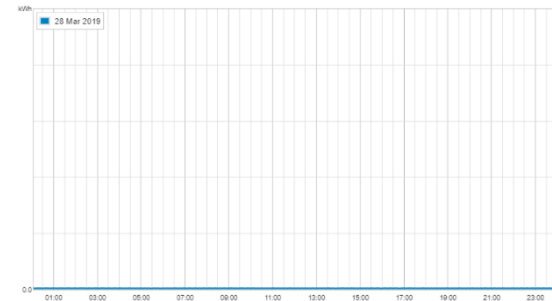
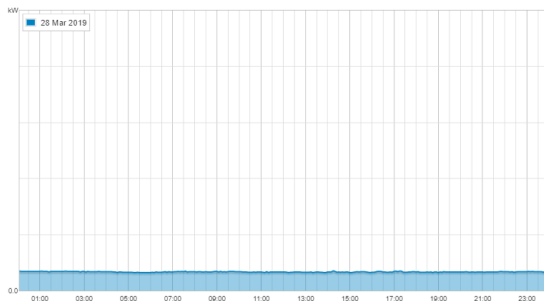


Fig. 67 - Gráfico da potência e energia do Equipamento Ativo.

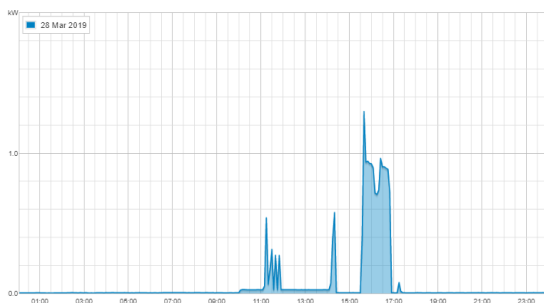


Fig. 68 - Gráfico da potência e energia do Aquecimento Central.

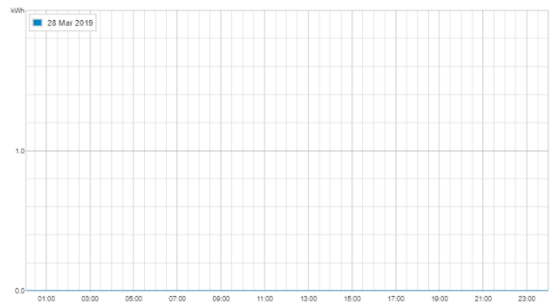


Fig. 69 - Gráfico da potência e energia do Piso Radiante.

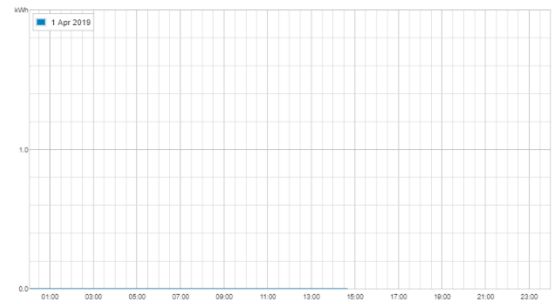
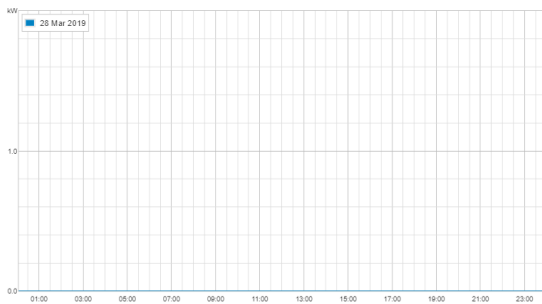


Fig. 70 - Gráfico da potência e energia das Águas Quentes Sanitárias.

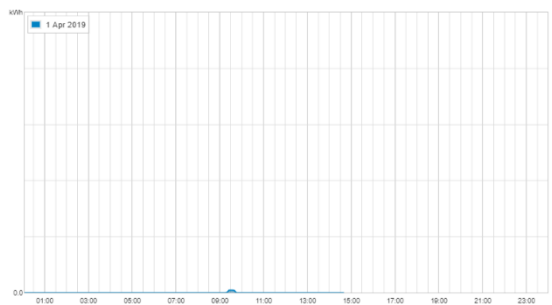
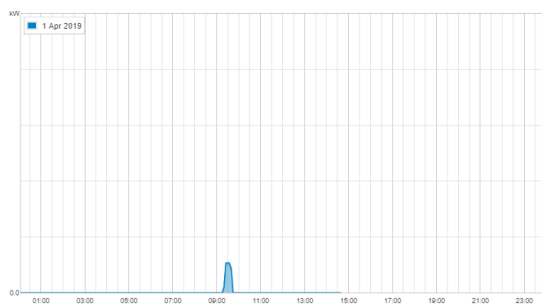


Fig. 71 - Gráfico da potência e energia da Ventilação Mecânica Controlada.

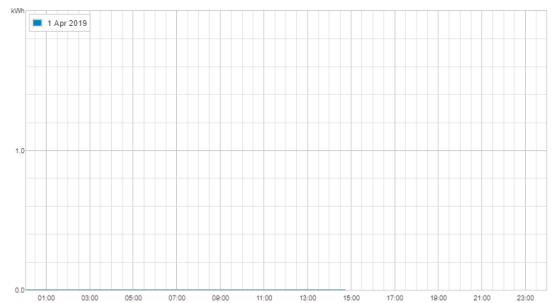
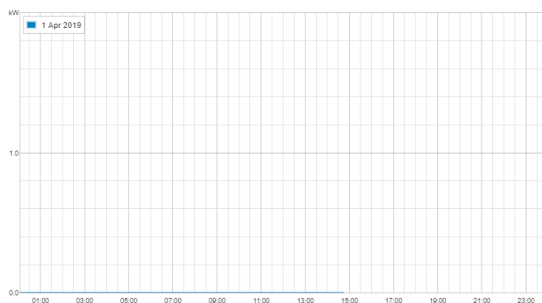


Fig. 72 - Gráfico da potência e energia dos Eletrodomésticos.

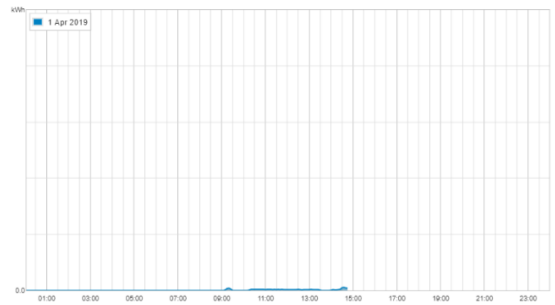
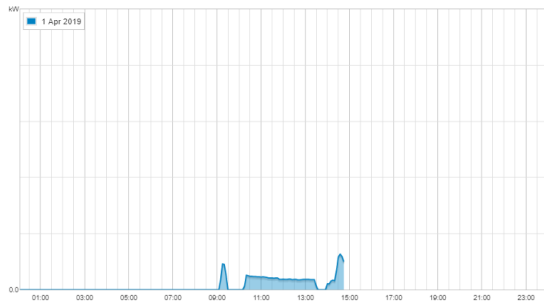


Fig. 73 - Gráfico da potência e energia dos outros circuitos.

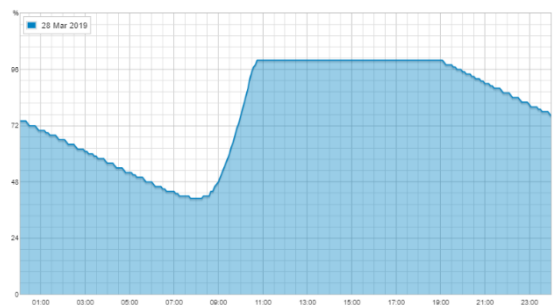
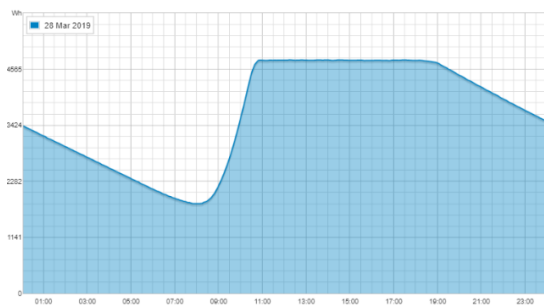


Fig. 74 - Gráfico da carga da Bateria em (Wh) e em %.

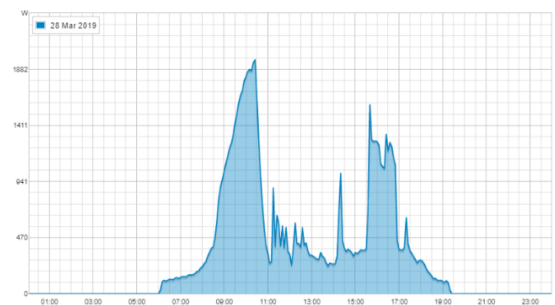
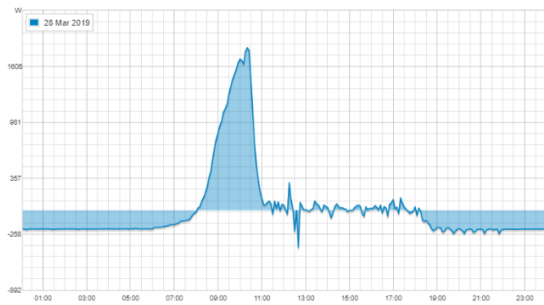


Fig. 75 - Gráficos de potência da Bateria e do PV.

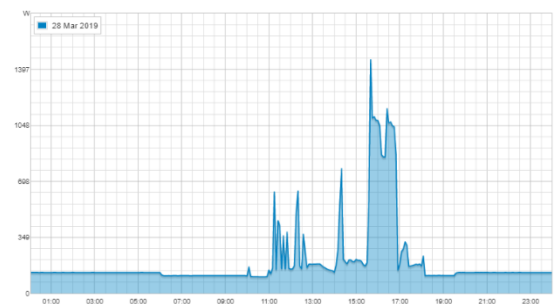
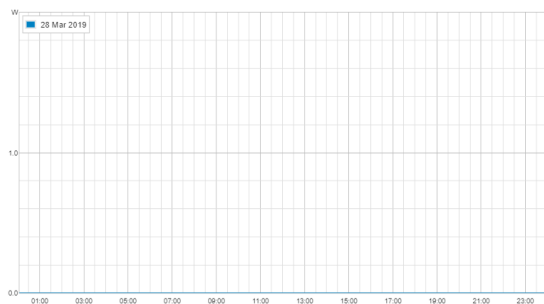


Fig. 76 - Gráfico da potência da Rede e da Casa.

4

RESULTADOS

4.1. PARÂMETROS ESTUDADOS E SÍNTESE DE RESULTADOS

Para uma análise pormenorizada do impacto dos ocupantes no protótipo nZEB da DreamDomus foram propostos 4 perfis de ocupação do mesmo:

- Ocupação tipo 1 - Perfil Livre;
- Ocupação tipo 2 - Perfil sem Ocupação;
- Ocupação tipo 3 - Perfil Ativo;
- Ocupação tipo 4 - Perfil Passivo.

Após as quatro semanas de estudo, a análise dos resultados foi direcionada para a VMC, Climatização e parâmetros interiores como a Temperatura, CO₂ e Humidade Relativa tendo em conta o impacto dos parâmetros exteriores tais como o Vento, Radiação, Chuva, Humidade Relativa e Temperatura. Por falta de instalação de sistemas de abastecimento de água no protótipo não foi possível analisar o impacto da utilização de AQS.

Para a realização da análise gráfica das semanas de ocupação, foram fornecidos dados reais do protótipo pela empresa DreamDomus através de um excel com medições de 5 em 5 minutos de todos os equipamentos e dos parâmetros medidos pelos sensores. Com estes dados foi possível criar uma representação gráfica da Temperatura, da Humidade Relativa e do CO₂ nas distintas divisões do protótipo ao longo dos diferentes dias de análise. Para a obtenção de uma análise mais sintética da divisão com mais ocupação, sala/cozinha, optou-se por apresentar os dados dos parâmetros medidos recorrendo a caixas de bigodes (boxplot).

4.1.1. OCUPAÇÃO TIPO 1:

Data: 27 de março a 1 de abril

- Perfil Livre

A ocupação do protótipo, durante os 6 dias, consistiu na utilização de todos os equipamentos tais como, iluminação, ventilação, climatização e aparelhos de cozinha, por 3 voluntários, durante o horário definido das 10h às 17h com uma simulação de almoço, ativando o disco elétrico, ao meio dia. Neste perfil de ocupação foi também possível detetar a abertura das portas e janelas principalmente entre as 12h e as 14h que posteriormente na análise dos parâmetros interiores terá bastante impacto nos resultados.

Em relação aos parâmetros exteriores, durante esta semana, obtivemos radiação solar com níveis bastantes altos com um pico máximo de 803 W/m² no dia 1 de março juntamente com uma variação de temperatura exterior de 11°C a 24,5°C. Não houve registo de precipitação durante a semana. Relativamente ao vento, este obteve um valor máximo de 4,26 m/s. De seguida, na Fig. 77, é apresentado uma representação gráfica da média semanal da radiação, da temperatura exterior e do vento da ocupação tipo 1.

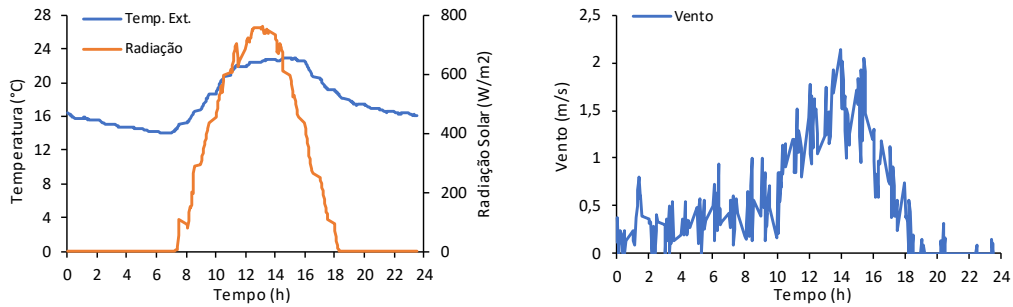


Fig. 77 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m²) e vento (m/s) - ocupação tipo 1.

• Temperatura

Em relação à temperatura interior, como podemos observar na mancha de gráficos representados na Tabela 1, verifica-se uma variação crescente constante entre os 18 °C e os 28 °C de máxima com alguns picos de variações acentuadas de temperatura principalmente no quarto e na sala/cozinha que coincide com as divisórias onde está instalado o equipamento de ar condicionado. É possível também observar um padrão constante da variação de temperatura em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muitos semelhantes. Como tal, decidiu-se analisar mais profundamente os dados da temperatura da divisão com maior ocupação, ou seja, a sala/cozinha. No gráfico apresentado na Fig. 78, das 10h às 17h podemos observar um crescimento da temperatura constante entre um valor mínimo de 19 °C e um máximo de 28 °C. No que diz respeito à mediana dos valores da amostra, entre as 00 h e as 9h da manhã pode-se considerar que apresenta uma distribuição simétrica, sendo que a mediana se apresenta próxima no centro do retângulo. A partir das 9h, a mediana aproxima-se do terceiro quartil (Q3) que representa 75% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são negativamente assimétricos.

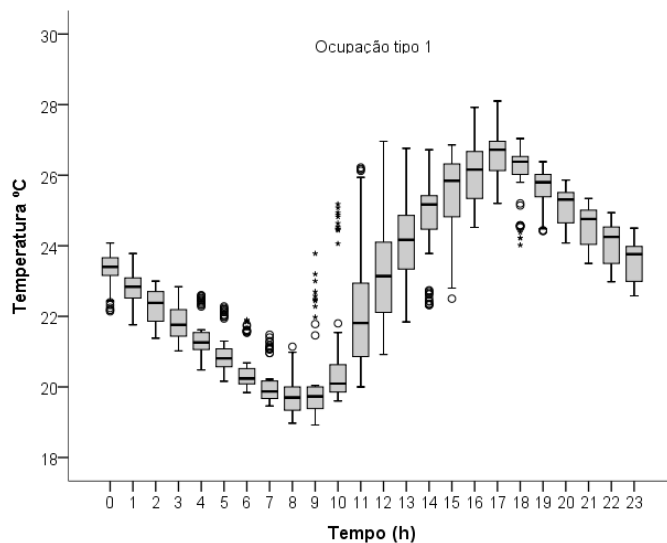


Fig. 78 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.

Tabela 1 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
27				
28				
29				
30				
31				
01				

- CO₂

Em relação aos níveis de CO₂, durante a primeira semana de ocupação, obteve-se um valor máximo de 1849 ppm na sala/cozinha e um mínimo de 419 ppm no quarto com um pico resultante de um crescimento acentuado às 12h no dia 28 e no dia 31 de março e às 18h nos restantes dias, tal como podemos observar na mancha de gráficos da Tabela 2. No dia 27, 28 e 1 de abril, houve uma variação dos níveis de CO₂ ao longo dos compartimentos criando dois picos de valores máximos distintos, seguidos de depressões acentuadas. É possível também verificar um padrão constante da variação de CO₂ em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes com a particularidade de se obter valores superiores na sala/cozinha e inferiores nos restantes compartimentos.

Segundo o gráfico da Fig. 79, na divisória sala/cozinha, detetou-se uma subida dos níveis máximos de CO₂ a partir das 10h bastante acentuada com a obtenção de um pico de 1800 ppm aproximadamente às 12h diminuindo de seguida não gradualmente até às 23h com a existência de depressões registadas às 14h e às 15h. Relativamente aos valores mínimos, não se detetou grandes variações entre os 450 ppm e os 550 ppm. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, sofreu bastantes alterações ao longo do dia com a particularidade de, a partir das 10h, se encontrar próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos com exceção das 16h em que os dados representados são negativamente assimétricos, às 15h em que os valores se apresentam positivamente assimétricos e às 11h em que se apresentam distribuições simétricas.

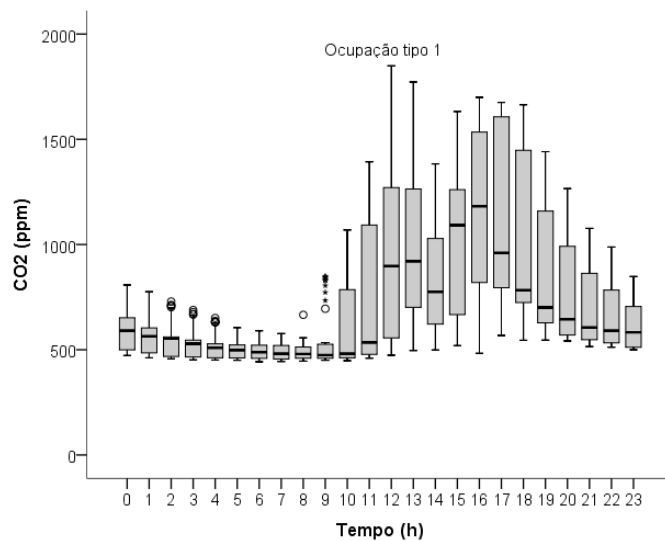
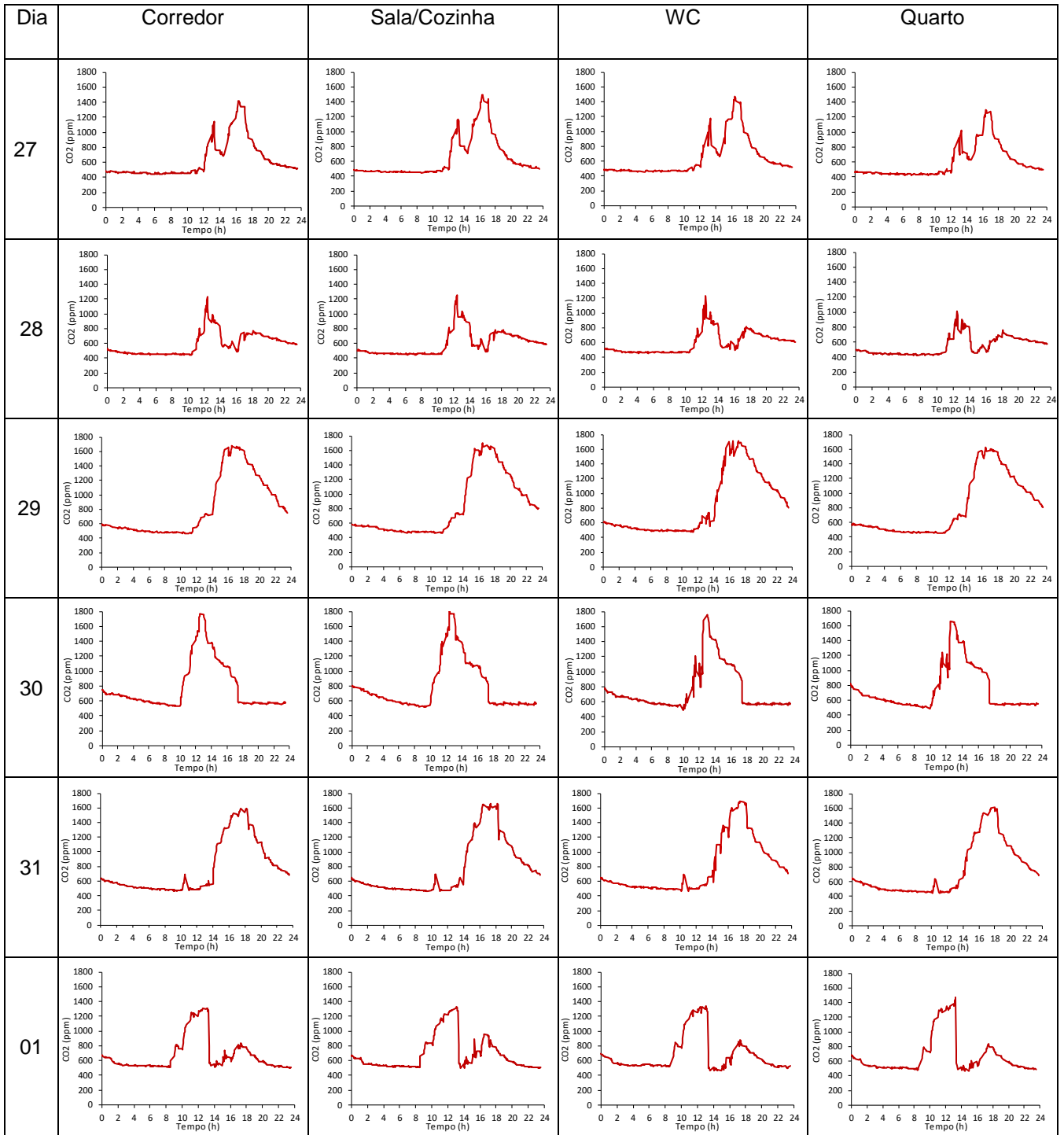


Fig. 79 - Evolução dos níveis de CO₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.

Tabela 2 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação.



• **Humidade Relativa**

Em relação à Humidade, entre as 00h e as 10h, ou seja, quando não houve qualquer tipo de ocupação do protótipo, esta manteve-se constante com valores compreendidos entre os 30% e os 45%. Após as 10h observou-se uma depressão com um valor mínimo de 21% no dia 28 de março o que provocou um crescimento gradual até às 18h onde se atinge de novo o valor constante inicial tal como é apresentado na mancha gráfica da Tabela 3. No dia 29 e no dia 1 de abril os valores mantiveram-se constantes com um crescimento pouco acentuado entre o valor inicial e o valor final. É possível também verificar um padrão constante da variação de Humidade relativa em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes com a particularidade de se obter valores inferiores na divisória com maior ocupação, a sala/cozinha.

No gráfico apresentado na Fig. 80, relativamente à sala/cozinha, podemos observar um decréscimo não linear da humidade relativa a partir da 10h até atingir um mínimo de 21% às 15h. Por outro lado, é possível observar um crescimento dos valores máximos até a um pico de 51%. Após as 15h os valores mínimos da percentagem de humidade crescem gradualmente até às 23h mantendo constantes os valores máximos. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, sofreu bastantes alterações ao longo do dia com a particularidade de se encontrar próxima do terceiro quartil (Q3), que representa 75% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são negativamente assimétricos.

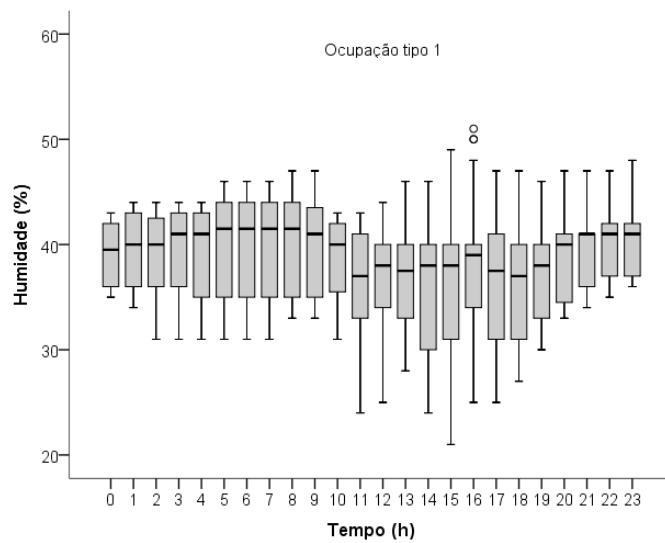
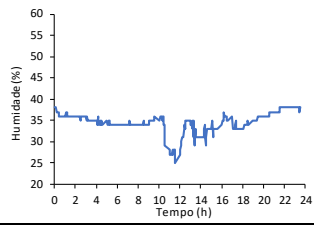
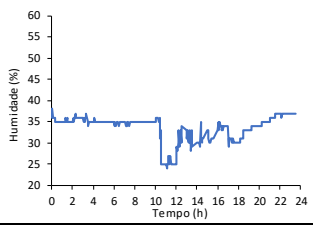
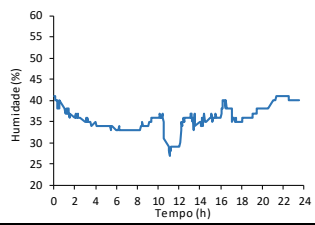
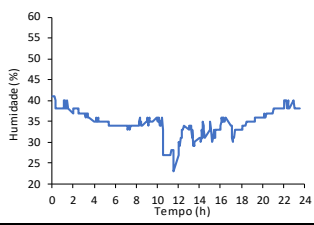
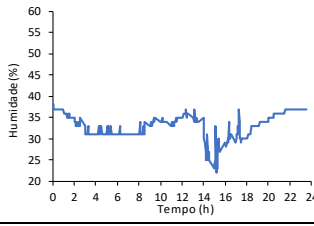
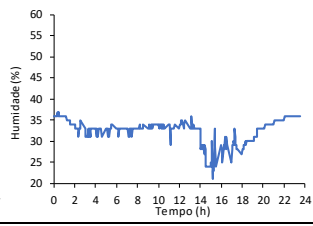
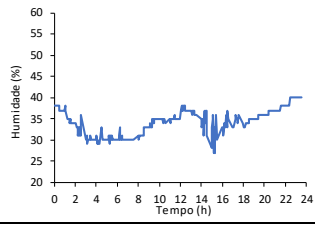
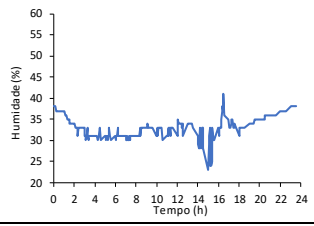
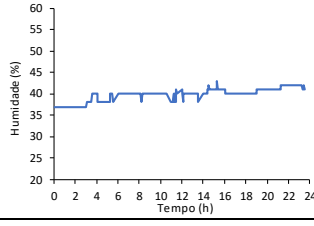
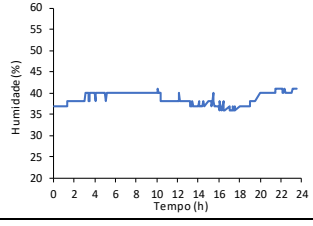
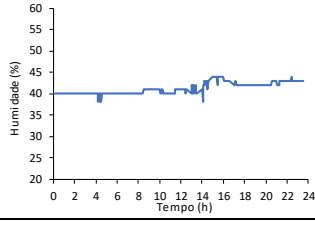
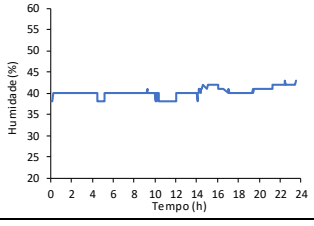
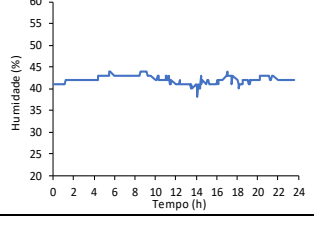
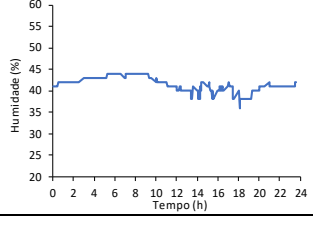
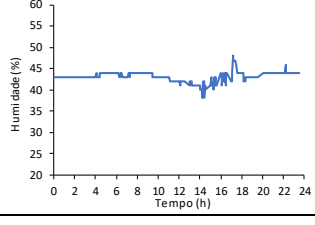
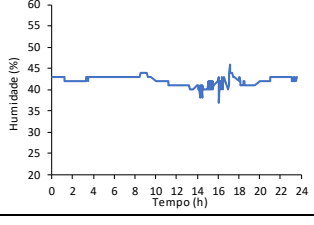
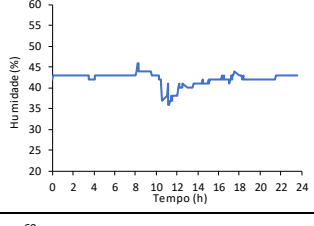
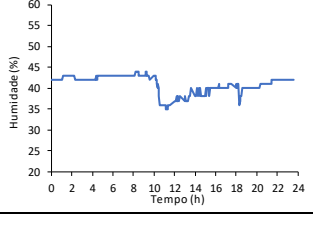
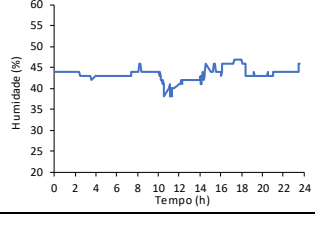
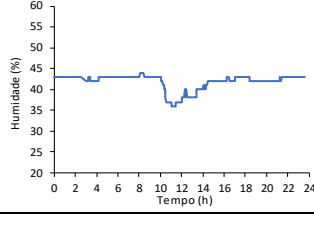
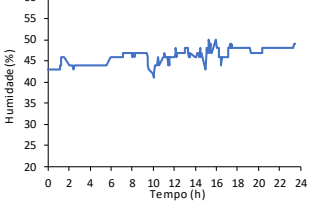
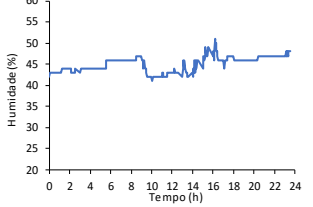
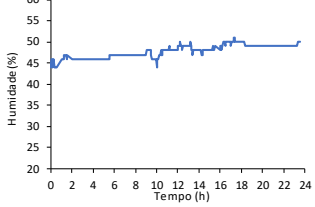
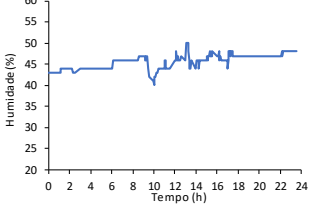


Fig. 80 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 1.

Tabela 3 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na primeira semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
27				
28				
29				
30				
31				
01				

4.1.2. OCUPAÇÃO TIPO 2:

Data: 5 a 10 de maio

- Sem Ocupação

Durante esta semana não houve qualquer tipo de ocupação do protótipo, utilizando o modo ausente, de forma a estudar e compreender o comportamento autónomo do protótipo. Relativamente aos parâmetros exteriores, durante esta semana, obtivemos radiação solar com grande variação dos níveis máximos com um pico de 839 W/m^2 no dia 7 de maio juntamente com uma variação de temperatura exterior de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Houve registo de precipitação no dia 8 de maio entre as 21:20 e as 22:55, no dia 9 de maio entre a 00:40 e as 02:35 e no dia 10 de maio entre as 14:30 e as 16:00. No que diz respeito ao vento, este variou entre 0 m/s e $6,6 \text{ m/s}$ de máxima. De seguida, na Fig. 81, é exposta uma representação gráfica da média semanal da radiação, da temperatura exterior e do vento da ocupação tipo 2.

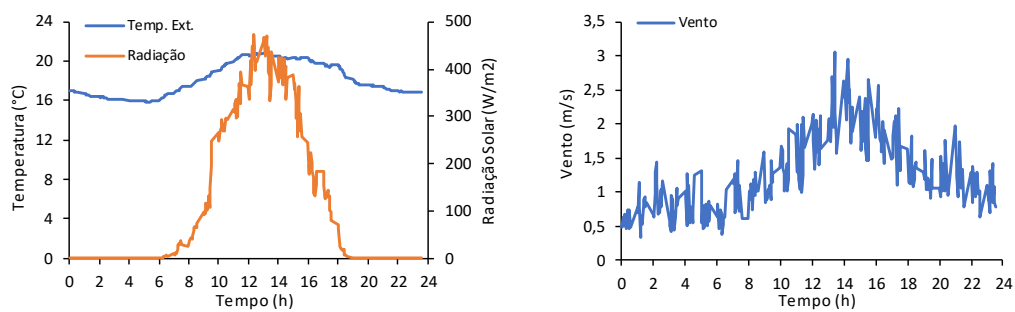


Fig. 81 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior ($^\circ\text{C}$), radiação (W/m^2) e vento (m/s) - ocupação tipo 2.

- **Temperatura**

Em relação à temperatura interior, como podemos observar na mancha de gráficos representados na Tabela 4, verifica-se uma variação pouco acentuada entre os $15,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e os $25 \text{ }^\circ\text{C}$. É possível também observar um padrão constante da variação de temperatura em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes. No dia 8 verificou-se um decréscimo da temperatura, atingindo os valores mínimos. Relativamente ao gráfico boxplot da temperatura da sala/cozinha durante a semana, apresentado na Fig. 82, das 10h às 17h podemos observar um crescimento suave da temperatura entre um mínimo de $16,5 \text{ }^\circ\text{C}$ e um máximo de $26 \text{ }^\circ\text{C}$. Verificou-se que mediana não variou mais que 1°C e obteve-se maior variação de temperatura às 18h de cada dia.

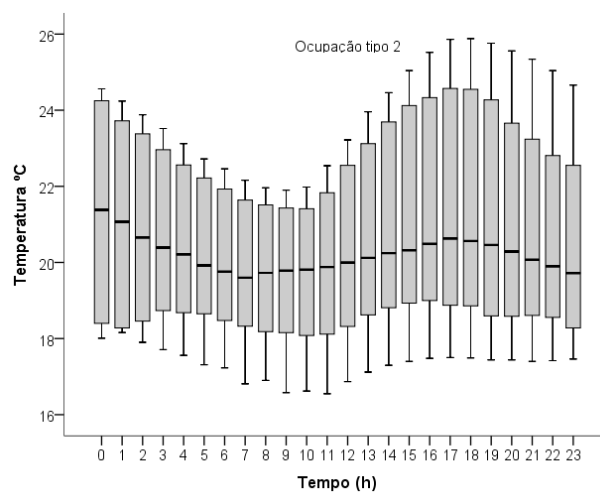
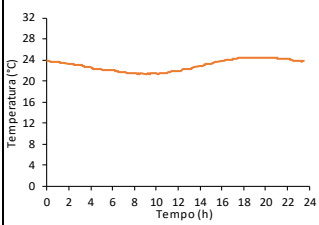
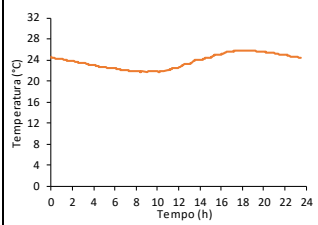
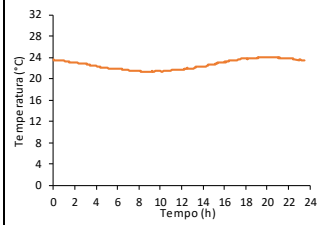
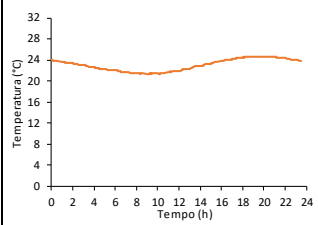
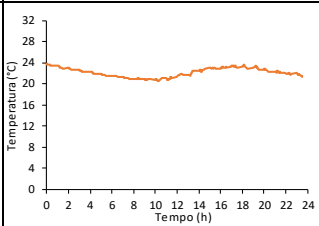
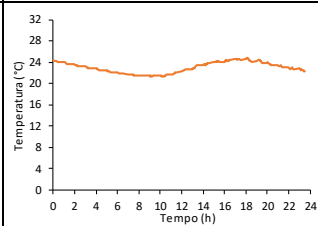
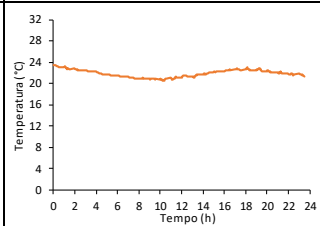
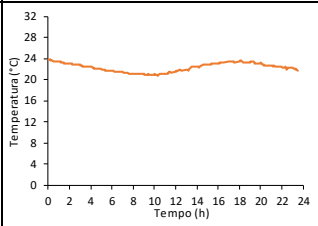
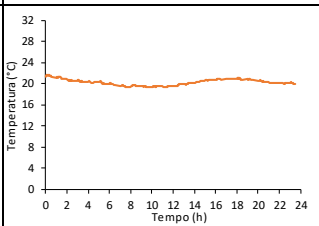
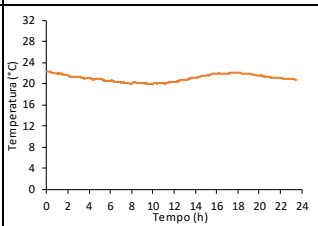
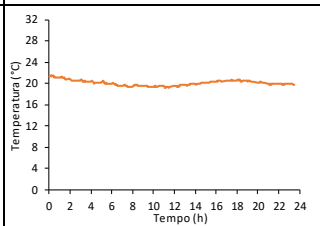
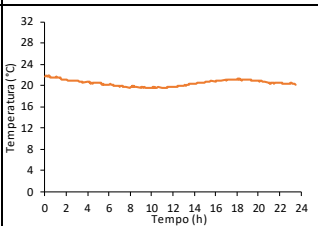
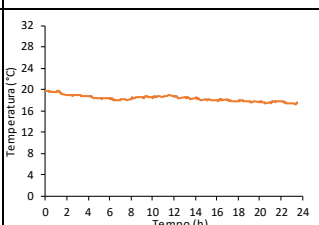
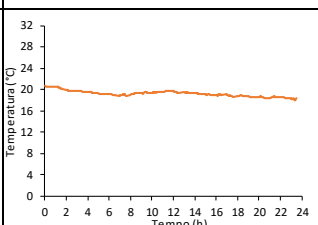
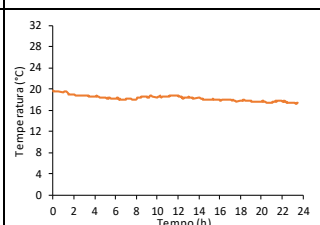
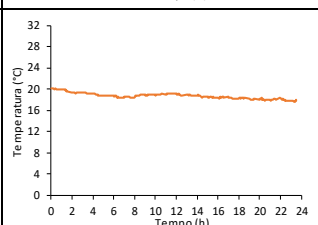
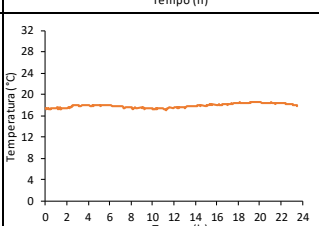
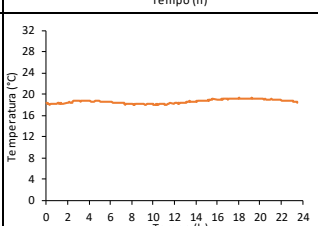
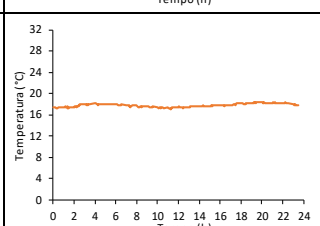
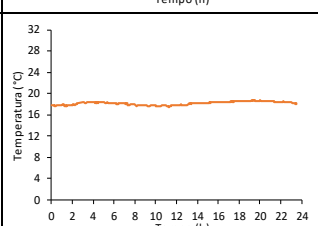
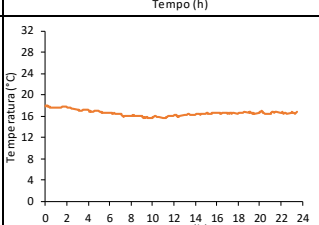
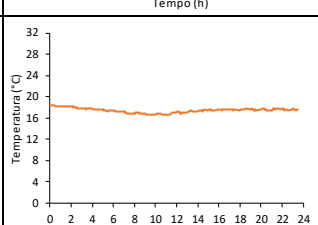
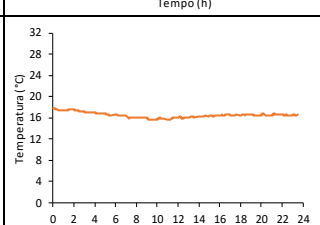
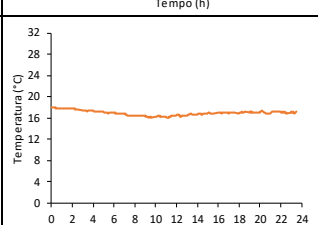


Fig. 82 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha - ocupação tipo 2.

Tabela 4 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
5				
6				
7				
8				
9				
10				

- CO₂

Em relação aos níveis de CO₂, durante a segunda semana de ocupação, obteve-se valores constantes ao longo do dia com variações pouco notórias entre 400 ppm e os 500 ppm, tal como é apresentado na Tabela 5. É possível também verificar um padrão constante da variação de CO₂ em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes.

Segundo o gráfico da Fig. 83, na divisória sala/cozinha, detetou-se decréscimo não linear dos níveis máximos de CO₂ desde as 00h até às 21h com um máximo próximo de 520 ppm e um mínimo próximo de 460 ppm dos valores máximos com um crescimento até às 23h. Em relação aos valores mínimos, estes foram bastante inconstantes variando entre 420 ppm e 435 ppm. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, manteve-se praticamente com a particularidade de se encontrar próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos até às 20h com exceção das 21h, 22h e 23h em que os dados representados são negativamente assimétricos.

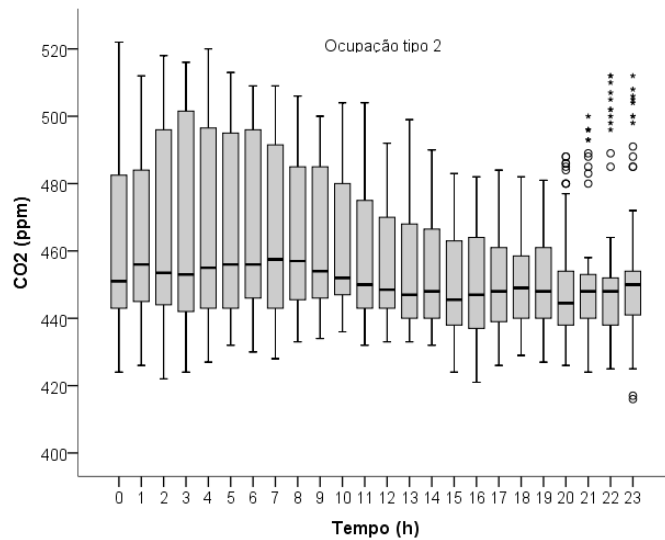
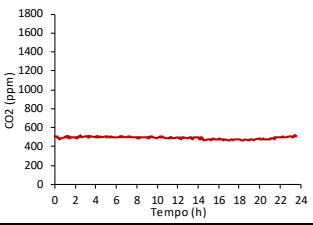
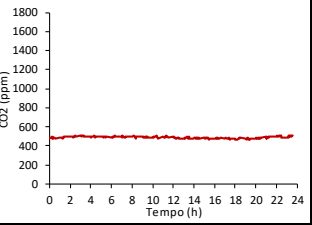
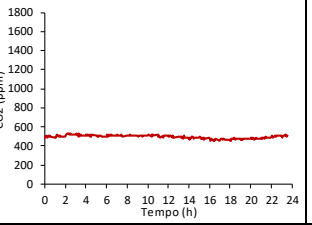
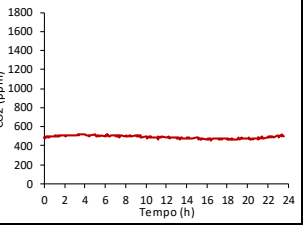
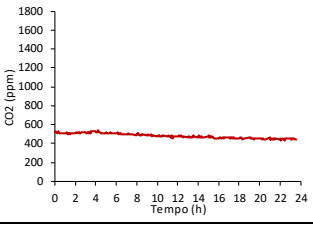
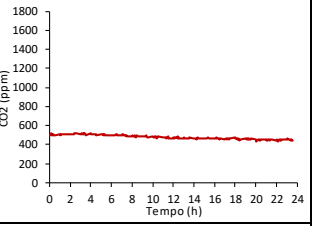
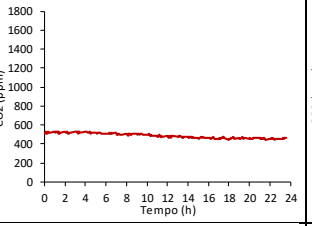
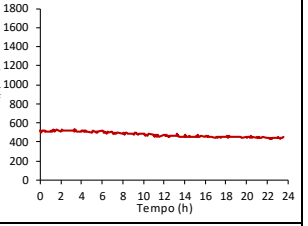
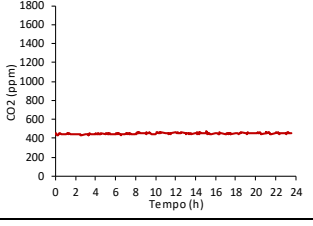
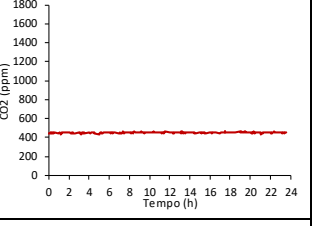
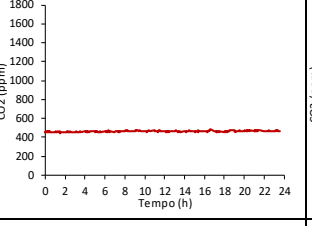
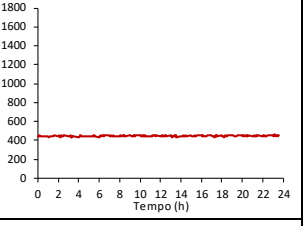
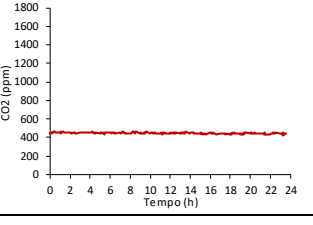
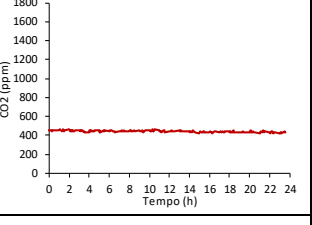
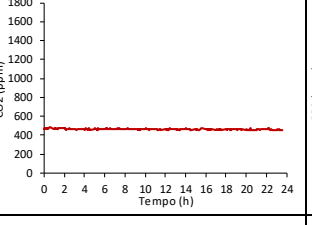
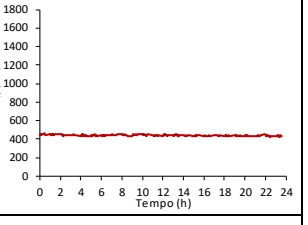
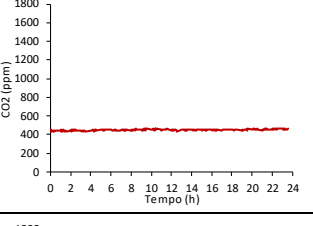
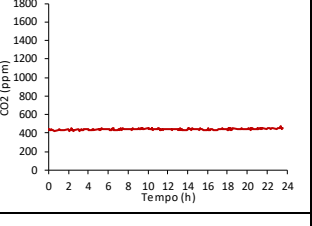
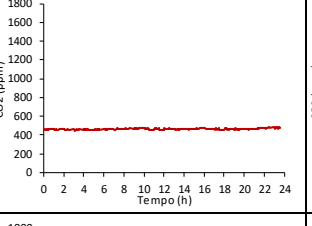
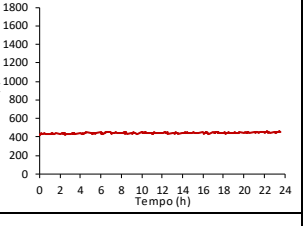
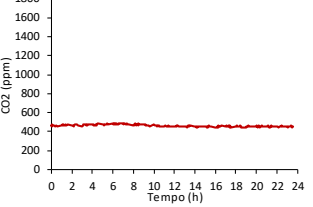
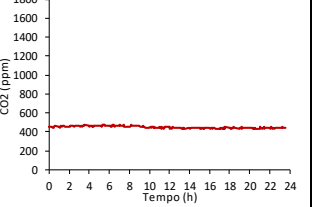
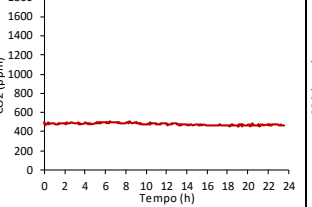
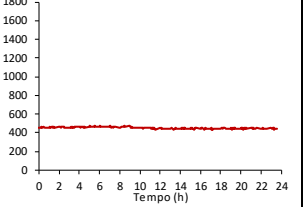


Fig. 83 - Evolução dos níveis de CO₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 2.

Tabela 5 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
5				
6				
7				
8				
9				
10				

• **Humidade Relativa**

Em relação à Humidade, tal como é apresentado na Tabela 6, durante os primeiros três dias, dia 5, 6 e 7 os valores obtidos foram bastante constantes com pequenas variações entre 49% e 61%. No dia 8 e no dia 10 observou-se um crescimento entre 60% e 80% e entre 65% e 85% respetivamente, no entanto, no dia 9 obteve-se um decréscimo da percentagem de humidade entre 80% e 65%. É possível também verificar um padrão constante da variação de Humidade relativa em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muitos semelhantes com a particularidade de se obter valores inferiores na divisória com maior ocupação, a sala/cozinha.

No gráfico apresentado na Fig. 84, relativamente à sala/cozinha, podemos observar um decréscimo linear dos valores máximos até às 5h, onde se mantém constante até às 7h e, a partir daí, cresce até às 21h obtendo um máximo de 82%. Por outro lado, os valores mínimos mantem-se constantes, aproximadamente 55%, até às 16h onde há uma diminuição da percentagem até aos 50% e a partir daí um crescimento até às 23h. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, inicialmente começou por crescer, mantendo-se entre os 55% e os 65%. A partir das 10h até às 23h manteve-se nos 60% com pequenas variações com a particularidade de se encontrar sempre próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos.

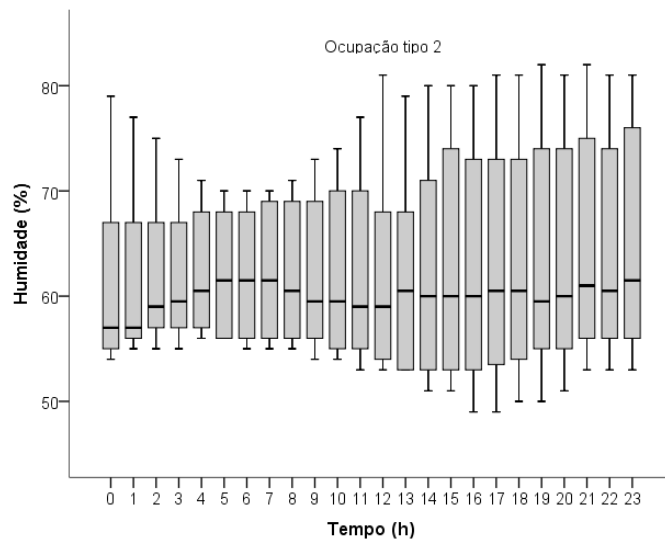
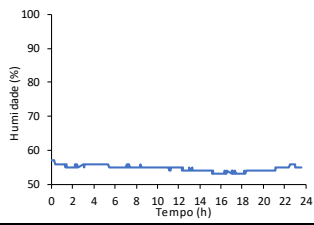
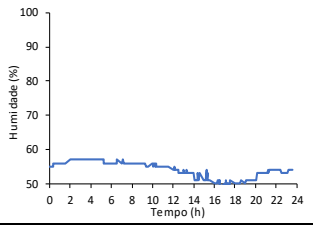
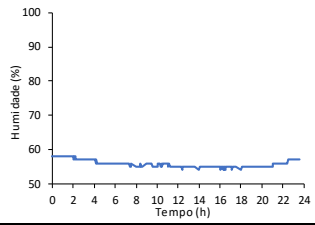
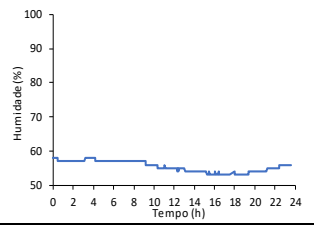
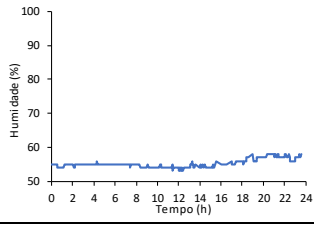
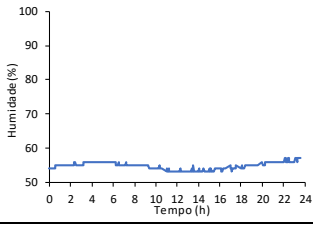
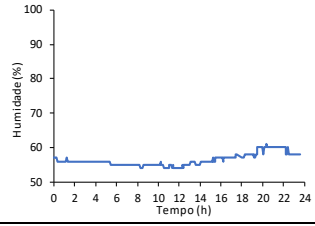
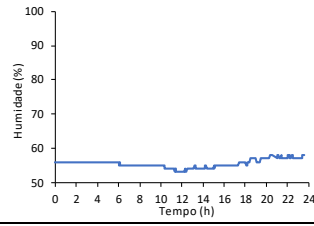
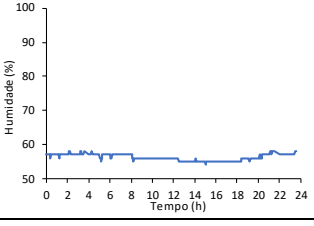
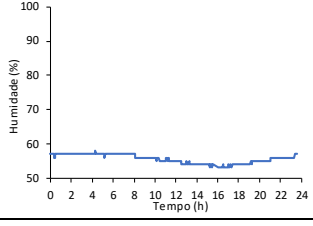
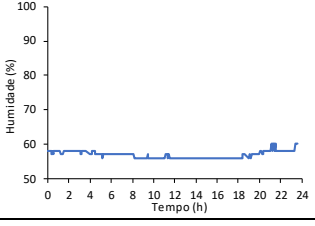
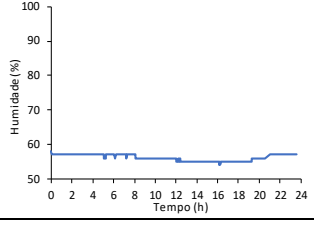
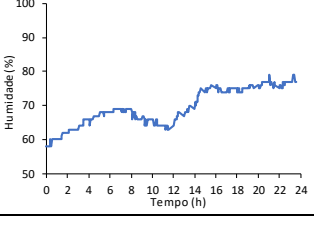
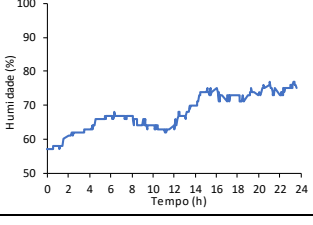
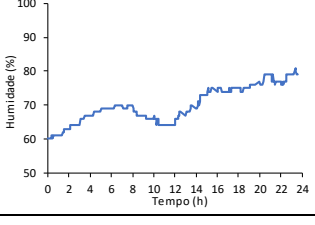
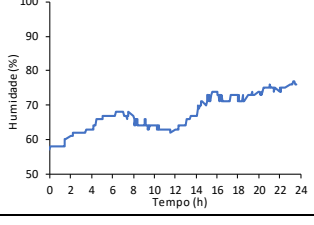
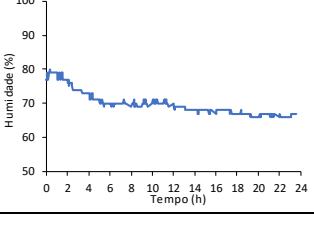
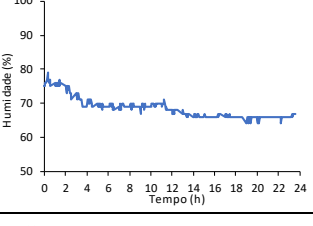
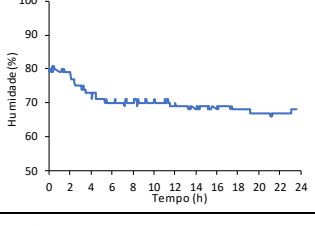
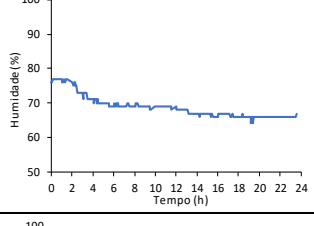
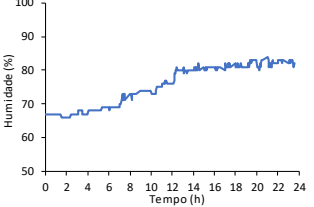
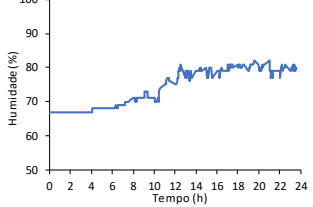
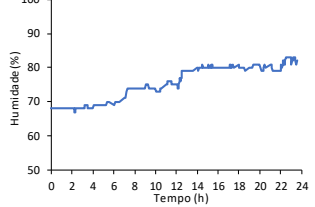
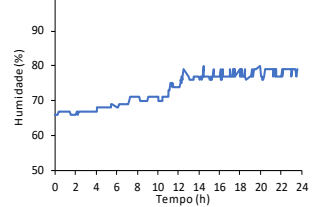


Fig. 84 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 2.

Tabela 6 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na segunda semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
5				
6				
7				
8				
9				
10				

4.1.3. OCUPAÇÃO TIPO 3:

Data: 15 a 20 de maio

- Perfil Ativo

Durante esta semana a ocupação consistiu na utilização do protótipo por 3 voluntários onde a ventilação apenas se realizou por meio mecânico, VMC, mantendo todas as janelas e portas fechadas. Foi possível também a utilização de qualquer outro equipamento do protótipo tal como a iluminação, o ar condicionado, as tomas elétricas, etc. Relativamente aos parâmetros exteriores, durante esta semana, obtivemos radiação solar com grande variação dos níveis máximos com um pico de 885 W/m² no dia 15 de maio juntamente com uma variação de temperatura exterior entre 12 °C e 24,5 °C. Houve registo de precipitação no dia 17 de maio entre as 13:30 e as 14:20, no dia 18 de maio entre a 12:05 e o 12:45. No que diz respeito ao vento, este variou entre 0 m/s e 5,8 m/s de máxima no dia 17 de maio. De seguida, na Fig. 85, é apresentada uma representação gráfica da média semanal da radiação, da temperatura exterior e do vento da ocupação tipo 3.

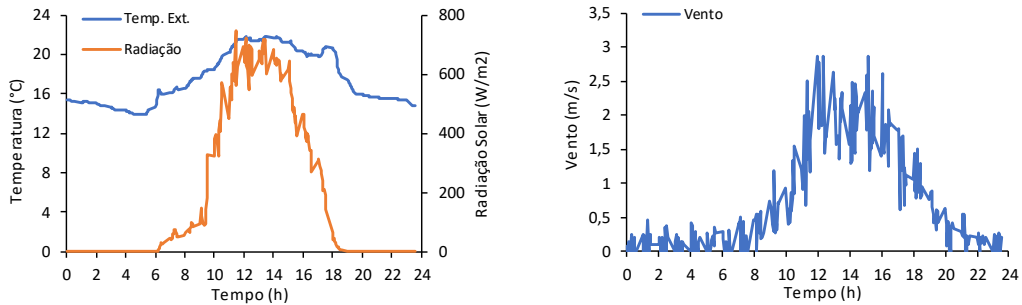


Fig. 85 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (%), radiação (W/m²) e vento (m/s) - ocupação tipo 3.

- Temperatura

Em relação à temperatura interior, como podemos observar na mancha gráfica representada na Tabela 7, verifica-se uma variação acentuada entre os 17,5 °C e os 27,5 °C com um crescimento visível a partir das 10h obtendo um máximo entre as 14h e as 16h exceto no dia 20 em que se verificou o máximo às 18h. É possível também observar um padrão constante da variação de temperatura em cada dia nos diferentes compartimentos. Relativamente ao gráfico boxplot da temperatura da sala/cozinha, apresentado na Fig. 86, entre as 10h às 17h podemos observar um crescimento acentuado da temperatura entre um valor mínimo de 18 °C e um máximo de 27 °C seguido um decréscimo constante até às 23h.

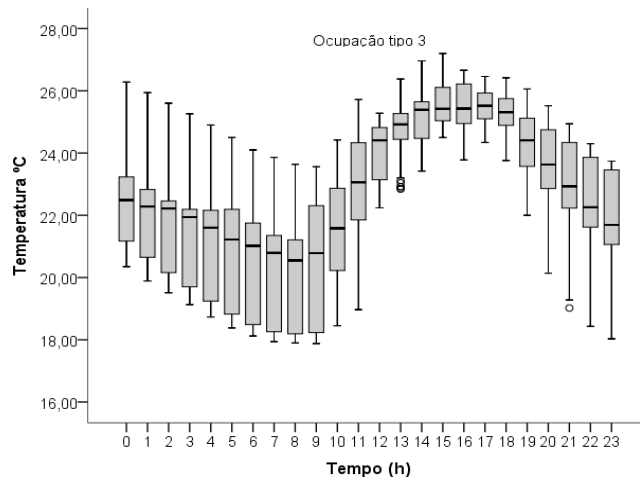
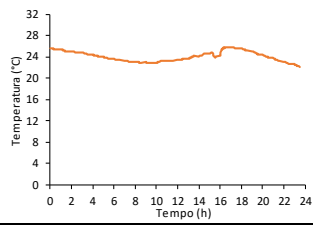
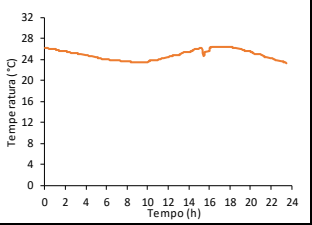
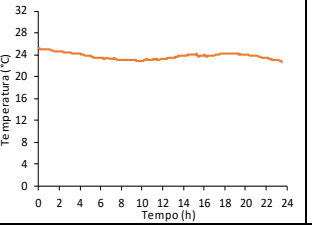
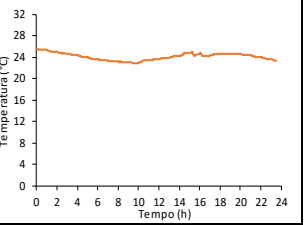
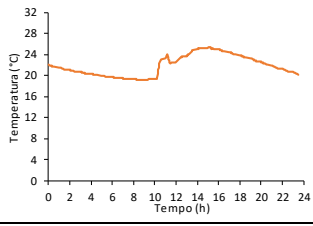
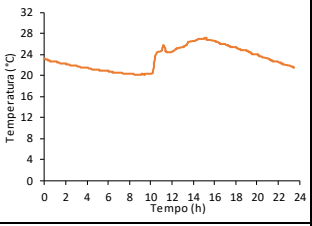
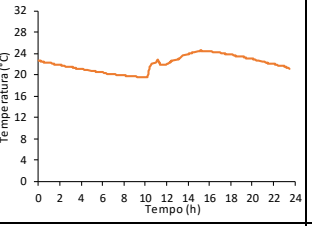
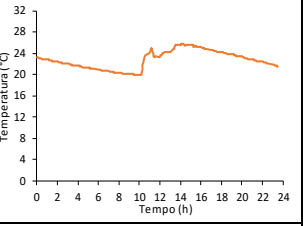
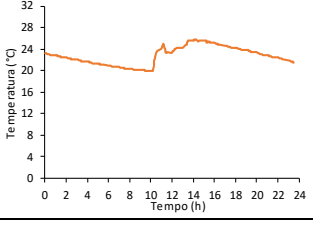
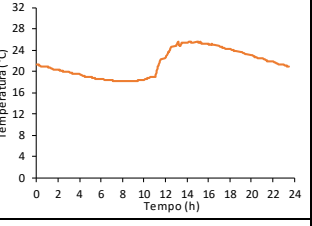
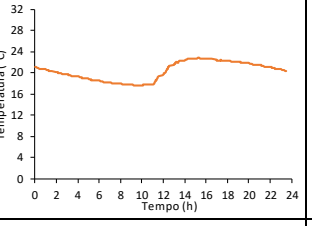
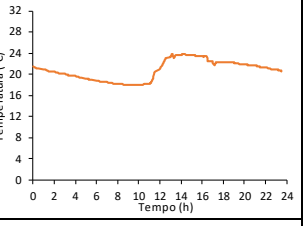
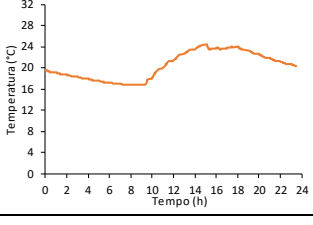
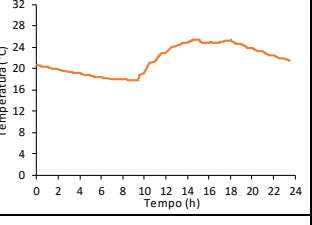
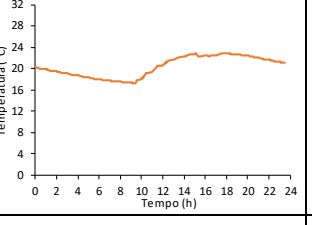
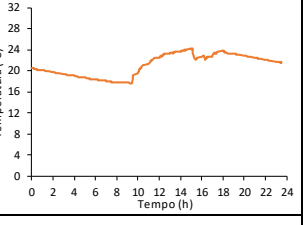
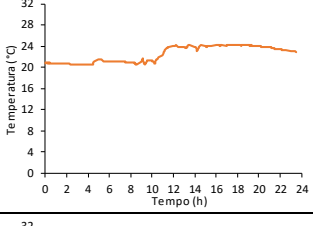
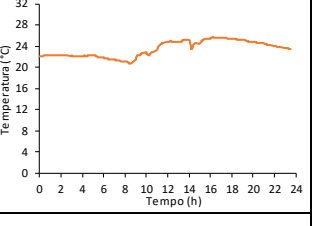
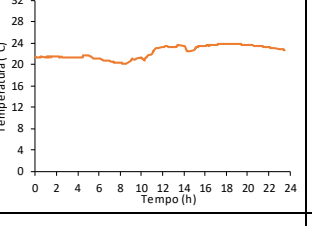
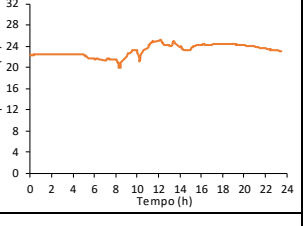
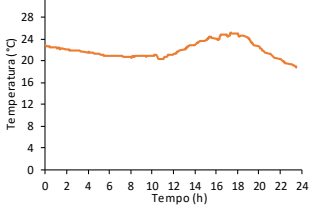
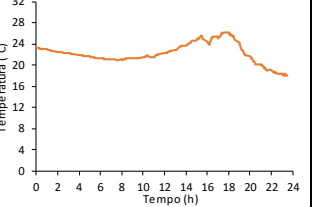
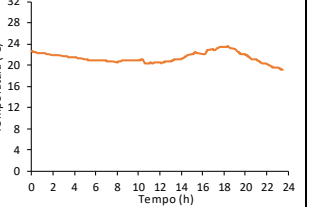
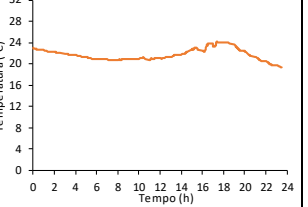


Fig. 86 - Evolução da temperatura da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.

Tabela 7 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
15				
16				
17				
18				
19				
20				

- CO₂

Em relação aos níveis de CO₂, durante a terceira semana de ocupação, obteve-se um valor máximo de 1239 ppm na sala/cozinha e um mínimo de 408 ppm no quarto tal como podemos observar na mancha de gráficos da Tabela 8. Relativamente à variação dos gráficos, observa-se a existência de dois picos de valores máximos entre às 10h e as 12h e entre as 16h e as 18h. No dia 16, 17 e 18 de maio, obteve-se gráficos com valores mais constantes em relação aos outros dias com variações compreendidas entre um mínimo de 408 ppm e um máximo de 824 ppm. É possível também verificar um padrão constante da variação de CO₂ em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muitos semelhantes com a particularidade de se obter valores superiores na sala/cozinha e inferiores nos restantes compartimentos.

Segundo o gráfico da Fig. 87, na divisória sala/cozinha, detetou-se uma subida dos níveis máximos de CO₂ a partir das 10h bastante acentuada com a obtenção de um pico de 1250 ppm às 16h diminuindo de seguida gradualmente até às 23h. Este crescimento não foi constante ao longo do tempo podendo-se observar a existência de uma depressão do nível máximo por volta das 13h. Relativamente aos valores mínimos, não se detetou grandes variações entre aproximadamente 400 ppm e 500 ppm. A mediana da amostra de valores, representada no gráfico, sofreu bastantes alterações ao longo das horas com a particularidade de, das 00h até às 9h se manter próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos. A partir das 10h houve bastantes alterações, sendo que os dados são apenas negativamente assimétricos às 10h. Durante a semana, a hora em que se obteve maior diferença de valores foi as 16h com uma variação de 480 ppm a 1250 ppm.

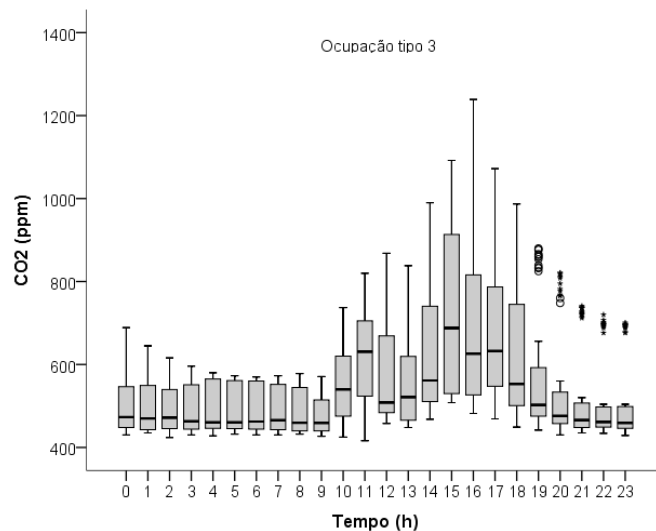
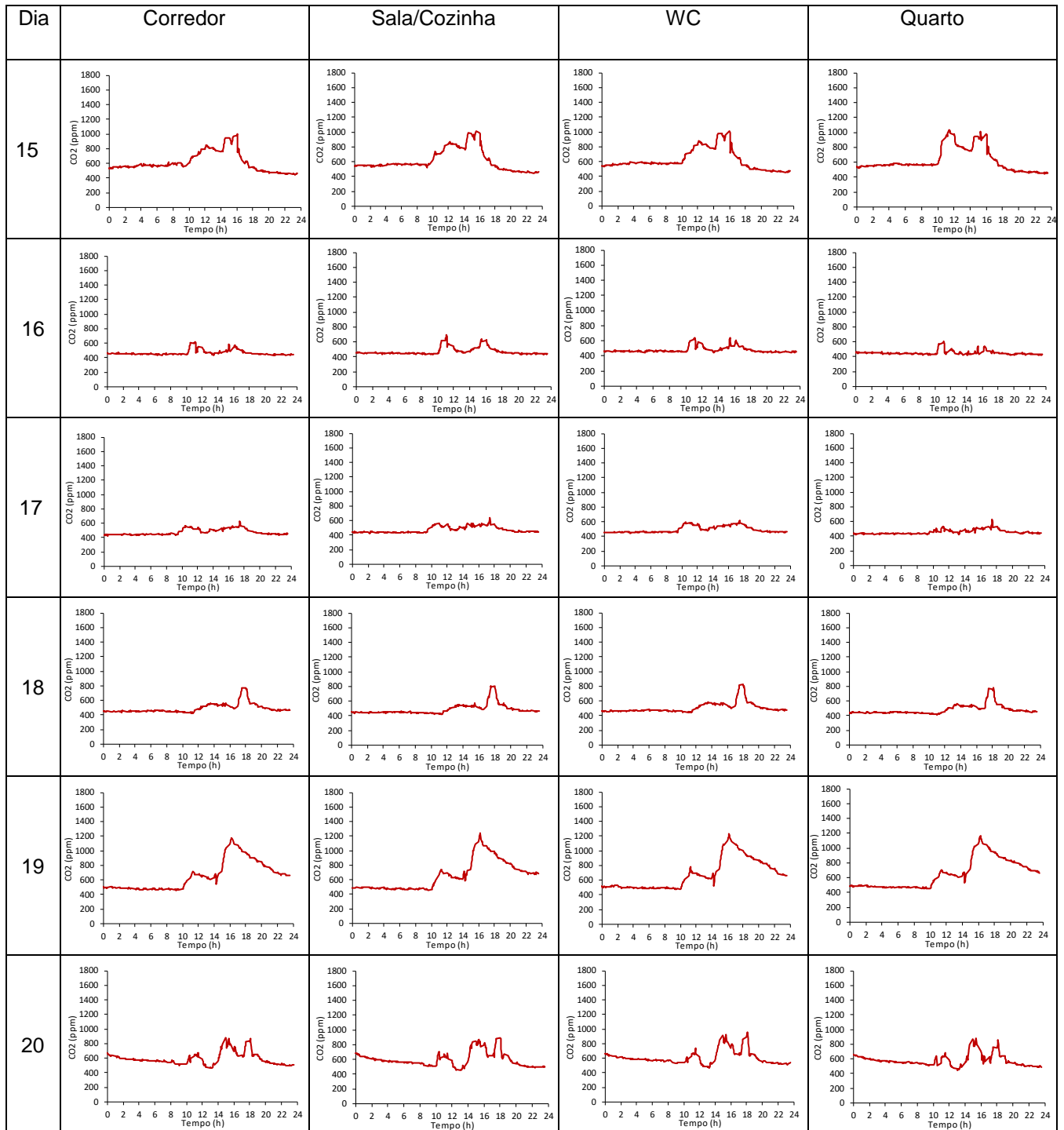


Fig. 87 - Evolução dos níveis de CO₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.

Tabela 8 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação.



• **Humidade Relativa**

Em relação à Humidade relativa, entre as 00h e as 10h, ou seja, quando não houve qualquer tipo de ocupação do protótipo, observou-se um crescimento entre um valor mínimo de 50% e um máximo de 60%. Após as 10h observou-se uma depressão alcançando um mínimo de leitura de 38% seguido de um crescimento gradual até às 23h, com a exceção do dia 15 e do dia 20 em que o gráfico apresenta um crescimento dos valores logo a partir das 10h, tal como é apresentado na mancha gráfica da Tabela 9. No dia 15 de maio, os valores mantiveram-se constantes com um crescimento pouco acentuado entre o valor inicial e o valor final enquanto que no dia 20, a partir das 10h há um crescimento brusco da percentagem de humidade seguido de uma depressão atingindo um valor mínimo próximo de 45% às 20h. É possível também verificar um padrão constante da variação de Humidade relativa em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes com a particularidade de se obter valores inferiores na divisória com maior ocupação, a sala/cozinha.

No gráfico apresentado na Fig. 88, relativamente à sala/cozinha, podemos observar um decréscimo não linear da humidade relativa a partir da 10h até atingir um valor mínimo de 38% às 15h. Por outro lado, é possível observar também um decréscimo não linear dos valores máximos até às 20h. Após as 15h os valores mínimos da percentagem de humidade crescem gradualmente até às 23h obtendo também um crescimento dos valores máximos a partir das 20h. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, entre as 10h e as 17h manteve-se mais próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos.

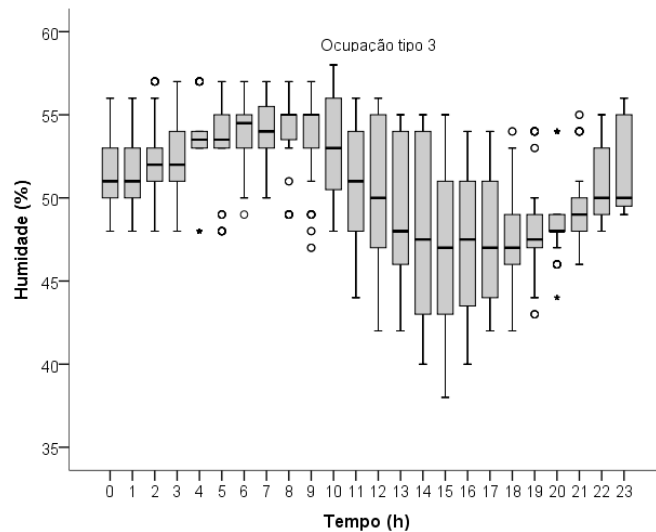
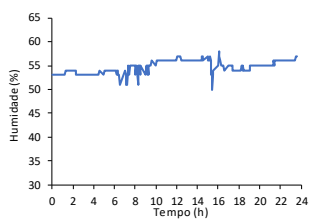
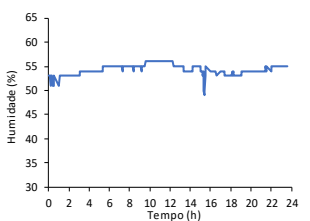
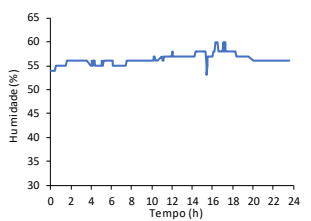
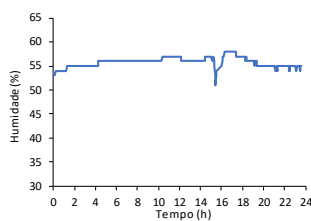
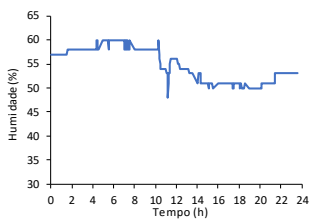
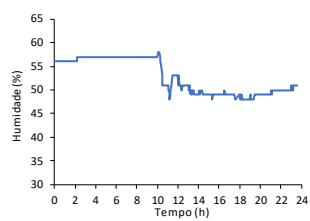
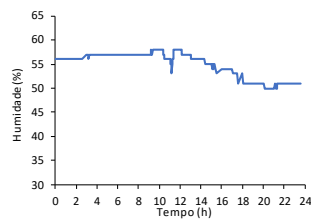
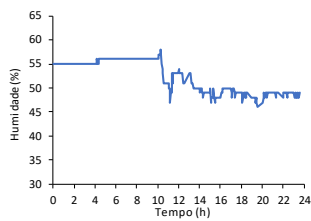
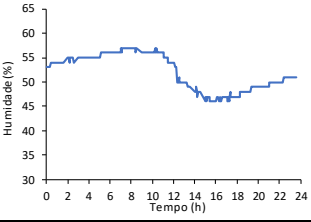
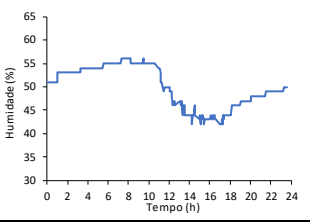
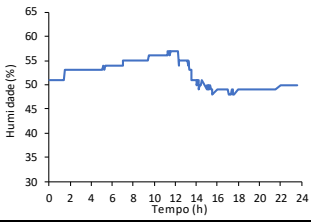
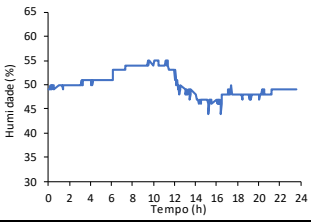
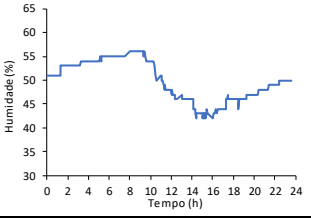
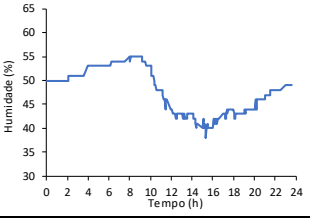
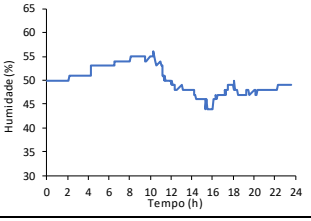
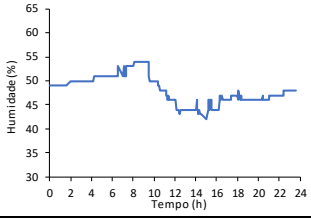
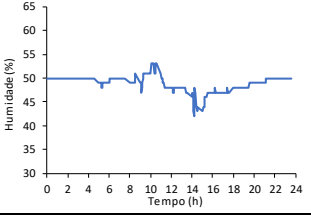
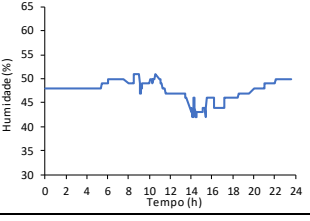
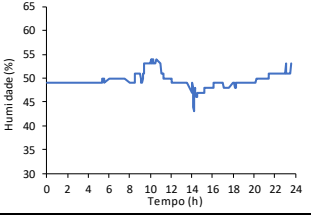
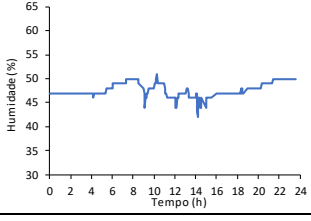
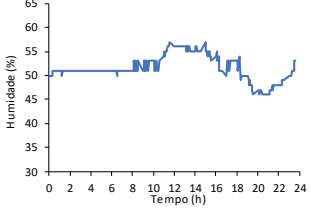
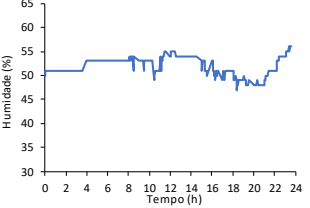
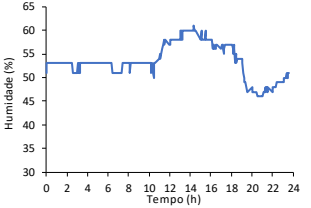
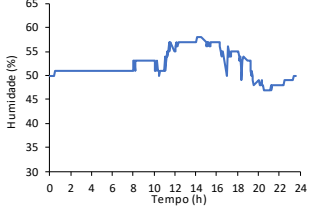


Fig. 88 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 3.

Tabela 9 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na terceira semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
15				
16				
17				
18				
19				
20				

4.1.4. OCUPAÇÃO TIPO 4:

Data: 23 a 28 de maio

- Perfil Passivo

Durante esta semana, a ocupação consistiu na utilização do protótipo por 3 voluntários onde a ventilação apenas se realizou através da abertura de portas e janelas. Os aparelhos de ventilação e climatização estiveram inativos. Foi possível, no entanto, a utilização de iluminação e tomadas elétricas.

Relativamente aos parâmetros exteriores, durante esta semana, obtivemos radiação solar com grande variação dos níveis máximos com um pico de 856 W/m^2 no dia 23 de maio juntamente com uma variação de temperatura exterior entre os $13,2 \text{ }^\circ\text{C}$ e os $28,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Não houve registo de precipitação durante a semana. No que diz respeito ao vento, este variou entre 0 m/s e $5,3 \text{ m/s}$ de máxima. De seguida, na Fig. 89, é exposta uma representação gráfica da média semanal da radiação, da temperatura exterior e do vento da ocupação tipo 4.

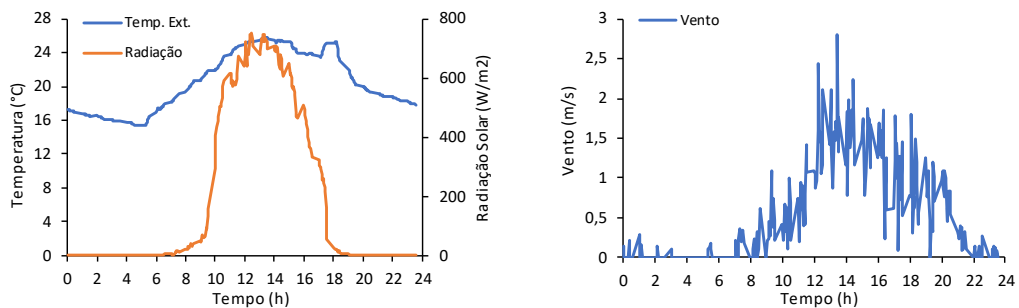


Fig. 89 - Gráfico da média semanal da temperatura exterior (°C), radiação (W/m^2) e vento (m/s) - ocupação tipo 4.

- Temperatura

Em relação à temperatura interior, como podemos observar na mancha de gráficos representados na Tabela 10, verifica-se uma variação pouco acentuada entre os $20 \text{ }^\circ\text{C}$ e os $28 \text{ }^\circ\text{C}$. É possível também observar um padrão constante da variação de temperatura em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muito semelhantes. Relativamente ao gráfico boxplot da temperatura da sala/cozinha durante a semana, apresentado na Fig. 90, das 10h às 17h podemos observar um crescimento suave da temperatura entre um mínimo de $20,3 \text{ }^\circ\text{C}$ e um máximo de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ seguido de um decréscimo até às 23h. Verificou-se que mediana dos valores da amostra variou bastante ao longo das horas.

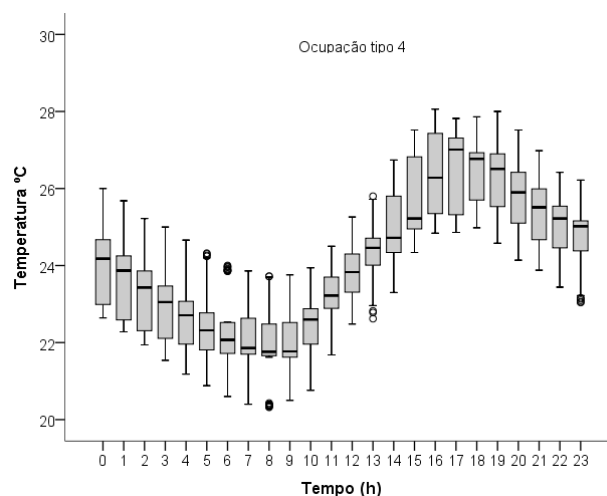
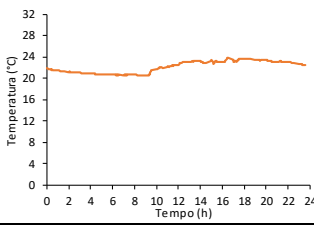
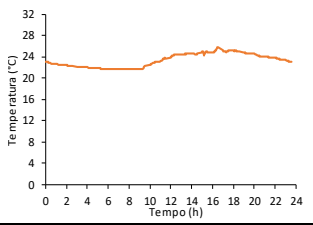
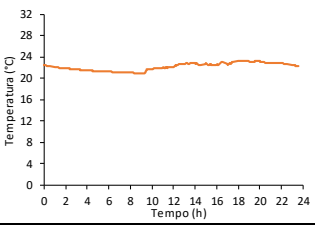
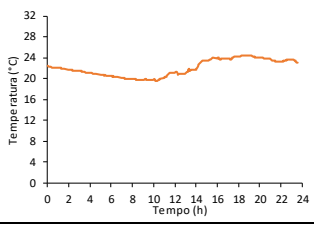
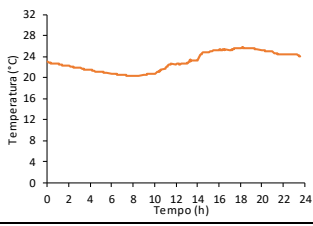
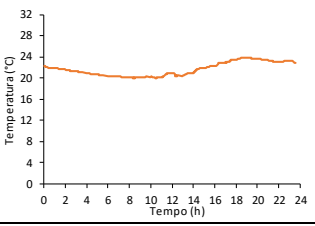
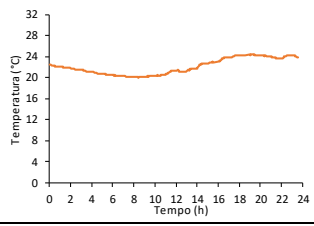
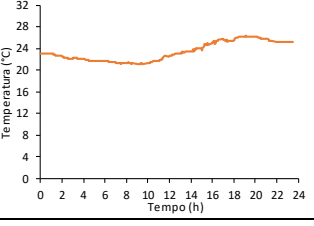
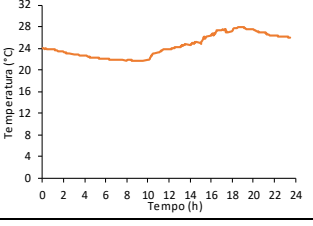
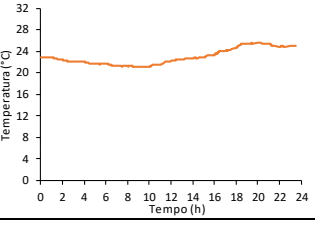
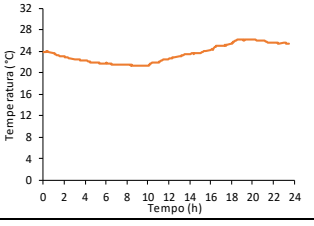
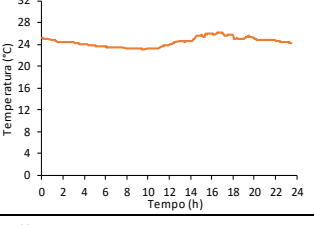
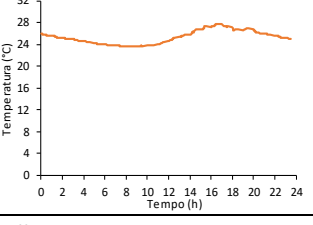
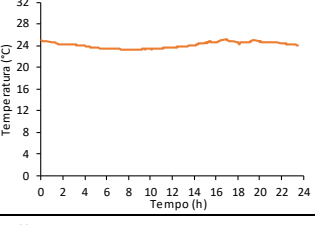
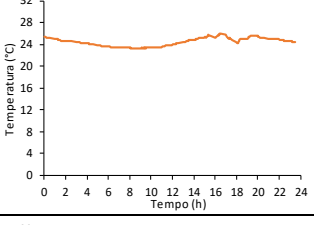
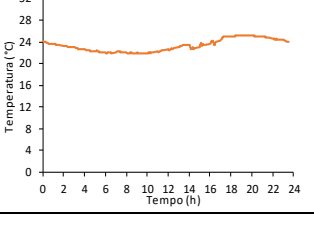
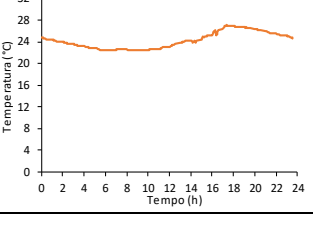
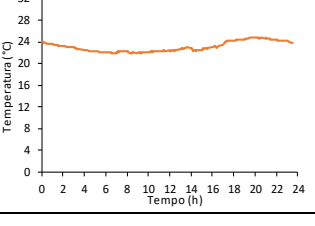
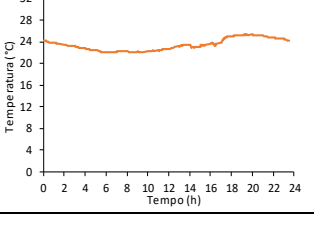
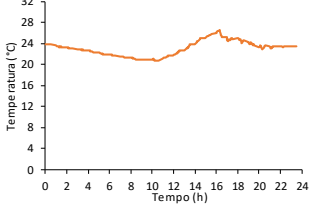
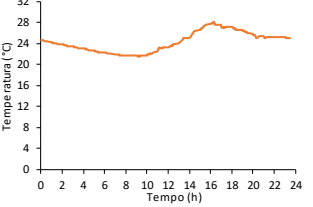
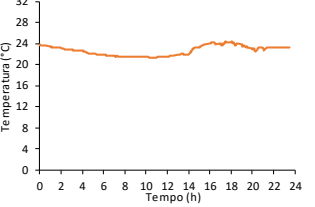
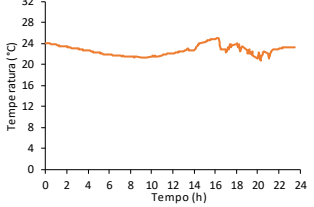


Fig. 90- Evolução da temperatura da Sala/Cozinha - ocupação tipo 4.

Tabela 10 - Gráficos representativos da temperatura (°C) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
23				
24				
25				
26				
27				
28				

- CO₂

Em relação aos níveis de CO₂, durante a quarta semana de ocupação, obteve-se um valor máximo de 1232 ppm na sala/cozinha e um mínimo de 418 ppm no quarto tal como podemos observar na mancha de gráficos da Tabela 11. Relativamente à variação dos gráficos, observa-se a existência de dois picos de valores máximos exceto no dia 25 com um pico e uma redução lenta e constante e no dia 28 com obtenção de valores máximos reduzidos. É possível também verificar um padrão constante da variação de CO₂ em cada dia, nos diferentes compartimentos, com valores máximos e mínimos muito semelhantes, com a particularidade de se obter valores superiores na sala/cozinha e inferiores nos restantes compartimentos.

Segundo o gráfico da Fig. 91, na divisória sala/cozinha, detetou-se uma subida dos níveis máximos de CO₂ a partir das 9h bastante acentuada com a obtenção de um pico de 1180 ppm aproximadamente às 12h diminuindo de seguida gradualmente até às 23h. Relativamente aos valores mínimos, não se detetou grandes variações mantendo-se constantes desde as 00h até às 23h. Ao longo do gráfico observou-se bastantes outliers que indicam valores discrepantes. A mediana da amostra de valores, representada no gráfico, sofreu bastantes alterações a partir das 10h até as 17h com a particularidade de se manter quase sempre próximas do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos. Durante a semana, a hora em que se obteve maior diferença entre os valores máximos e os valores mínimos foi às 12h.

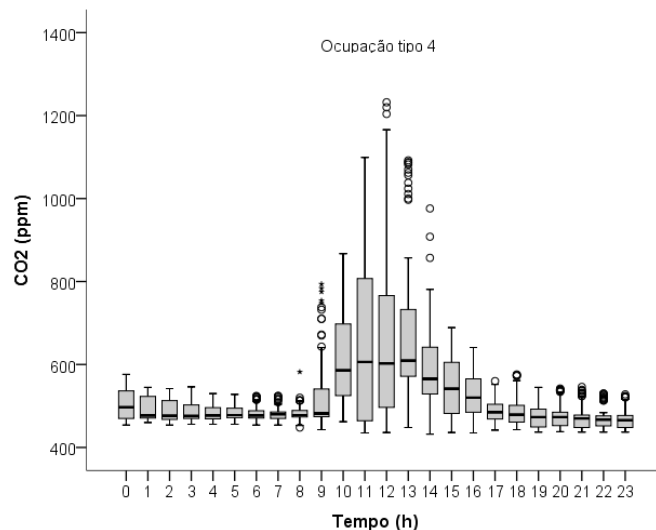
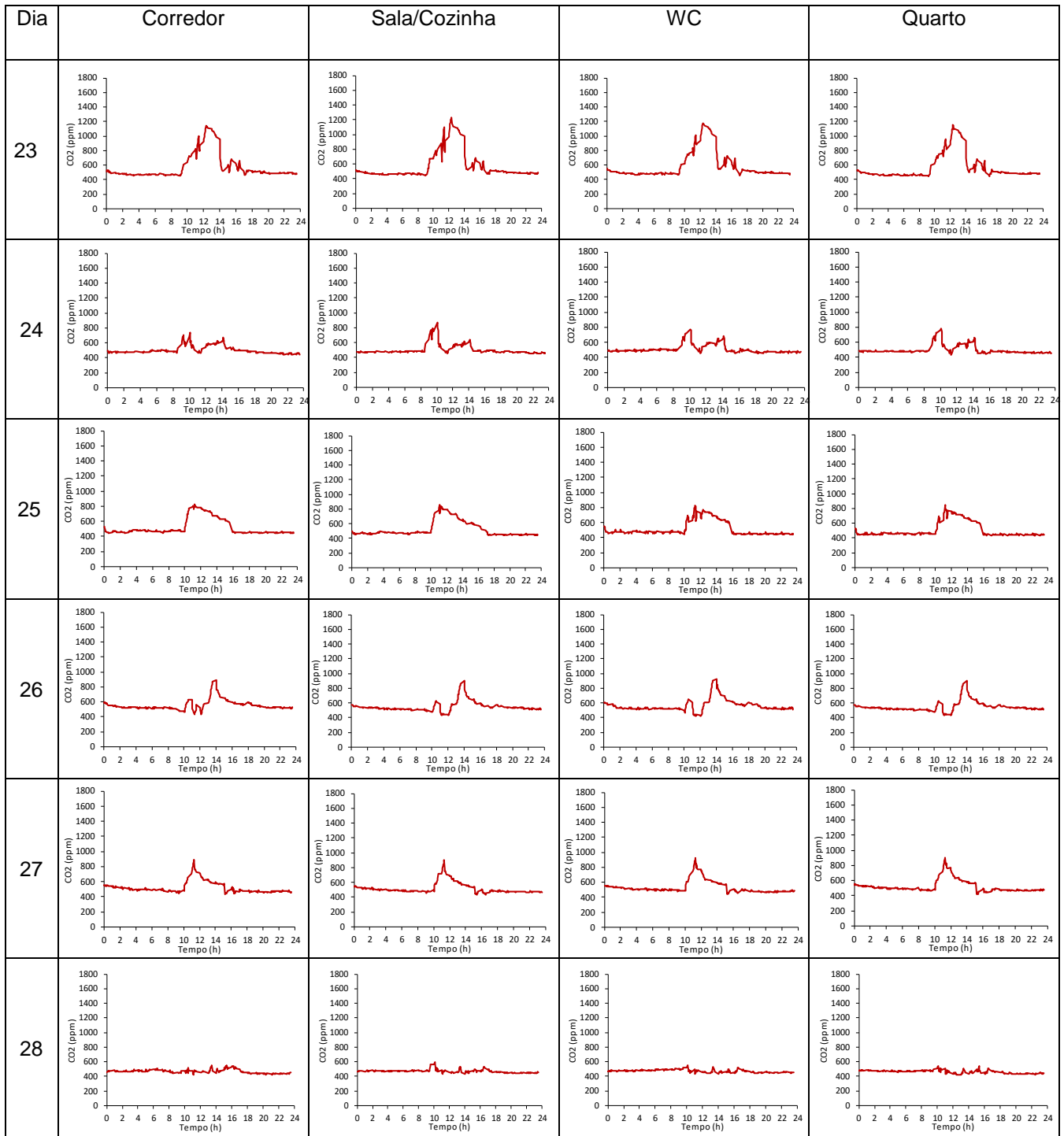


Fig. 91 - Evolução dos níveis de CO₂ da Sala/Cozinha – ocupação tipo 4.

Tabela 11 - Gráficos representativos do CO₂ (ppm) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação.



• **Humidade Relativa**

Em relação à Humidade relativa, entre as 00h e as 10h, ou seja, quando não houve qualquer tipo de ocupação do protótipo, os valores obtidos foram bastante constantes com uma pequena variação entre os 50% e os 60%. Após as 10h, no dia 24, 25 e 28 observou-se uma depressão alcançando um mínimo de leitura de 37%, tal como é apresentado na mancha gráfica da Tabela 12. No dia 23 a humidade apenas começou a decrescer a partir das 12h e no dia 27 houve um crescimento com um pico de 60% tal deveu-se a uma depressão apresentada da temperatura interior. No dia 26 de maio, os valores mantiveram-se constantes com algumas variações entre as 14h e as 18h. É possível também verificar um padrão constante da variação de Humidade relativa em cada dia nos diferentes compartimentos com valores máximos e mínimos muitos semelhantes com a particularidade de se obter valores inferiores na divisória com maior ocupação, a sala/cozinha.

No gráfico apresentado na Fig. 92, relativamente à sala/cozinha, podemos observar um decréscimo não linear da humidade relativa a partir da 11h até atingir um valor mínimo de 42% às 12h obtido. Através de um outlier que indica que é um valor discrepante conseguimos obter um mínimo de 38%. Por outro lado, é possível observar também um decréscimo não linear dos valores máximos até às 20h. Após as 14h os valores mínimos da percentagem de humidade crescem gradualmente até às 23h com uma depressão às 20h e obtendo também um crescimento dos valores máximos a partir das 20h. A mediana dos valores da amostra, representada no gráfico, entre as 10h e as 17h manteve-se mais próxima do primeiro quartil (Q1), que representa 25% dos valores da amostra, o que demonstra que os dados são positivamente assimétricos com a exceção das 17h em que a mediana se encontra perto do terceiro quartil (Q3).

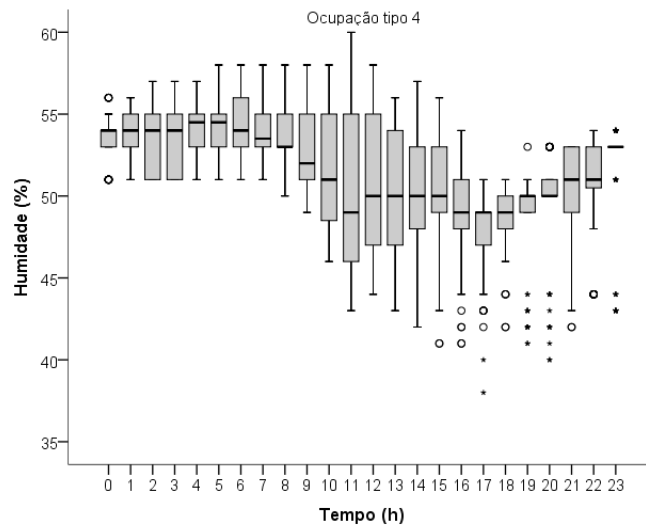
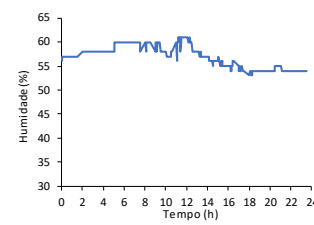
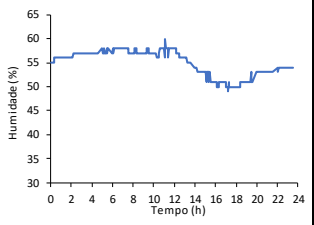
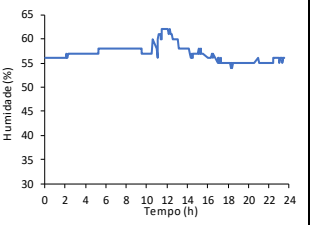
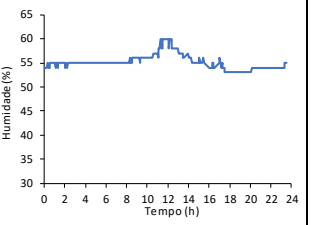
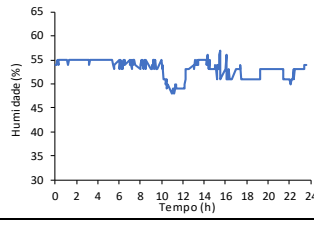
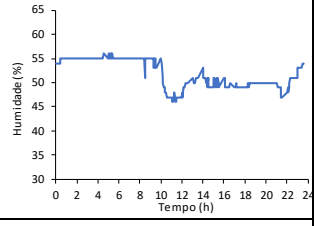
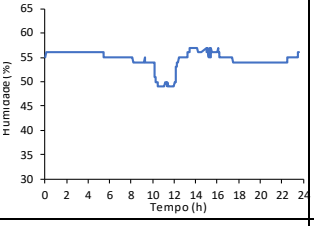
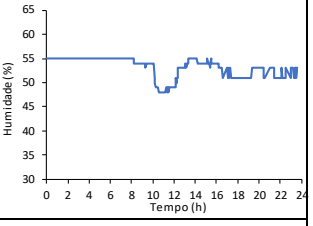
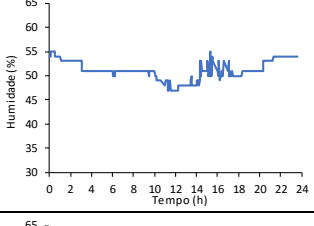
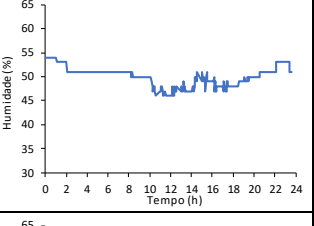
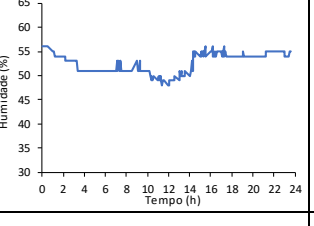
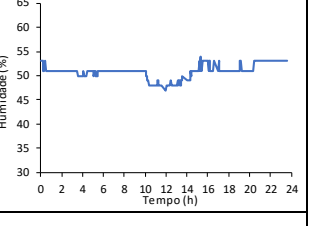
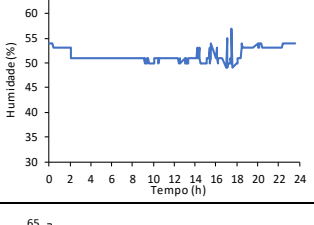
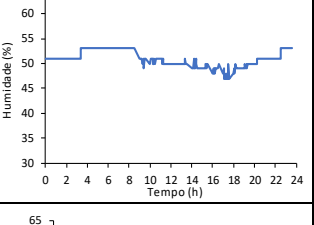
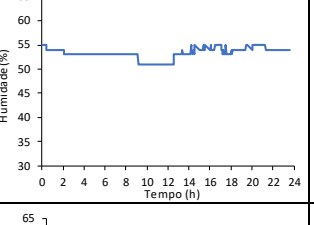
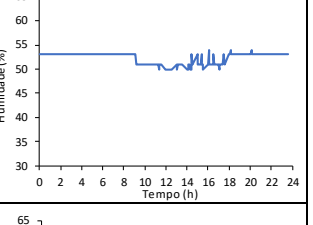
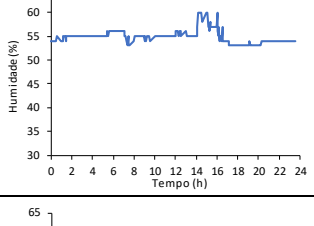
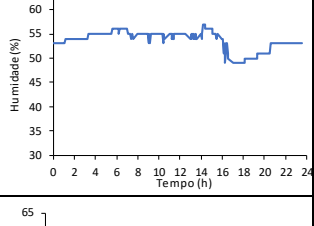
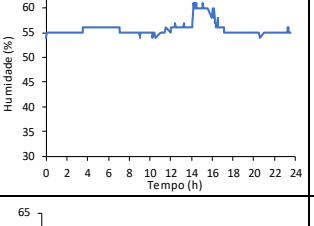
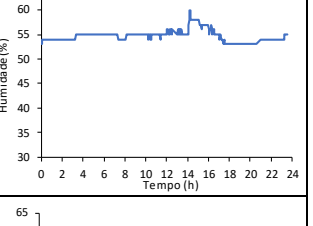
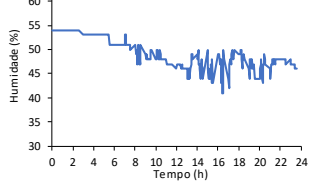
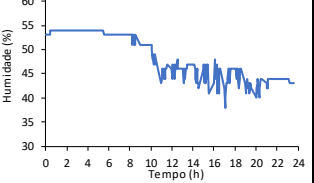
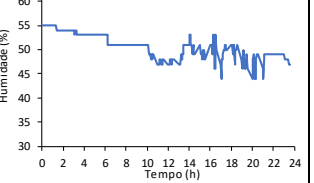
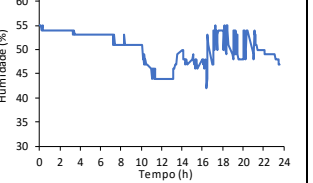


Fig. 92 - Evolução da Humidade da Sala/Cozinha – ocupação tipo 4.

Tabela 12 - Gráficos representativos da Humidade relativa (%) ao longo do tempo (h) dos diferentes compartimentos na quarta semana de ocupação.

Dia	Corredor	Sala/Cozinha	WC	Quarto
23				
24				
25				
26				
27				
28				

Foi possível também monitorizar a abertura de portas e janelas que influenciaram bastante os níveis dos parâmetros interiores, a temperatura interior, o CO₂ e a humidade relativa, obtendo gráficos como os que são apresentados nas Tabela 13 e Tabela 14. Não foram criados gráficos para o perfil tipo 2 visto que este não teve qualquer tipo de ocupação e para o perfil 3 pois só houve abertura da porta de entrada.

Tabela 13 - Gráficos de monitorização da abertura de portas e janelas da primeira semana de ocupação.

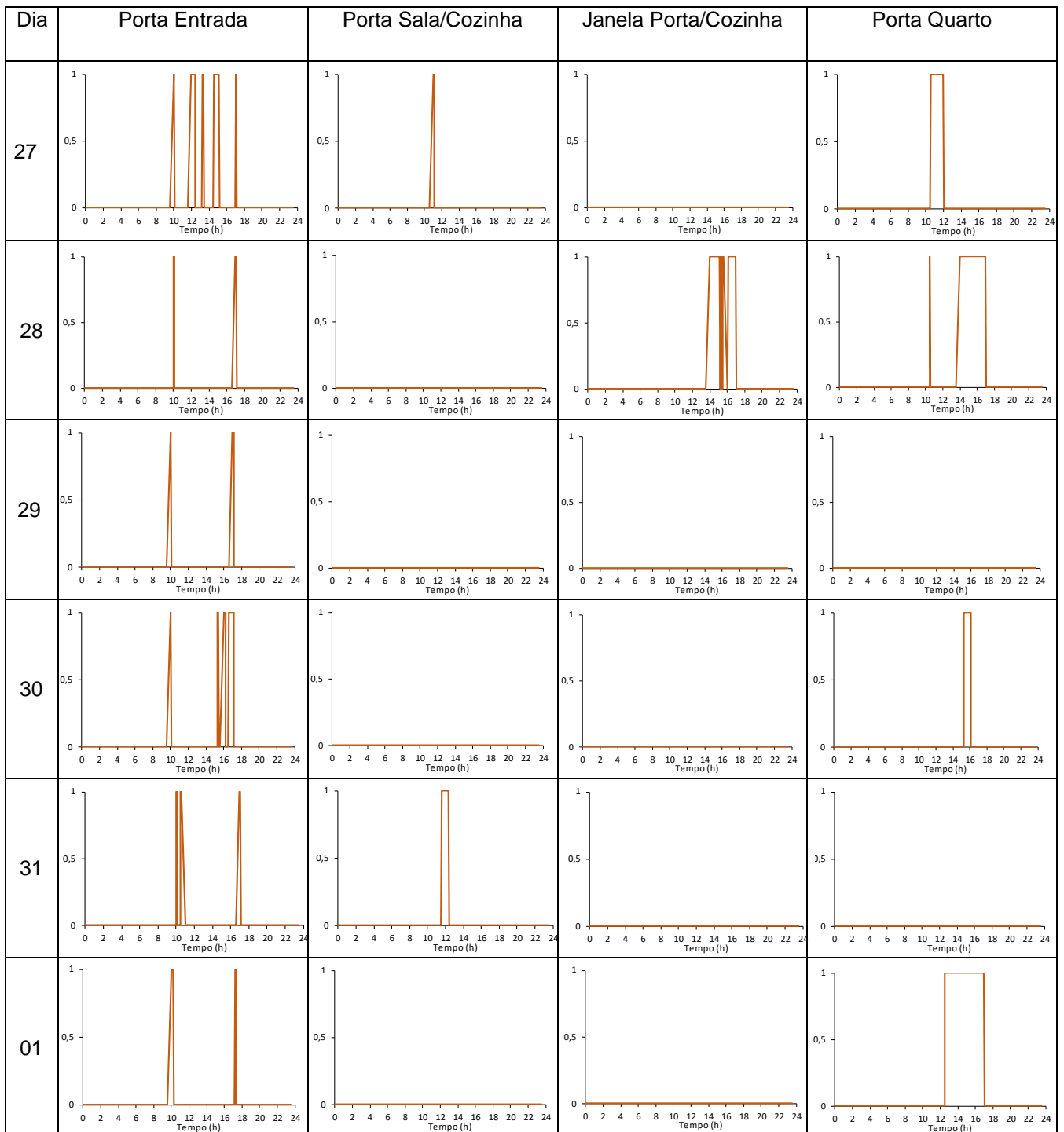
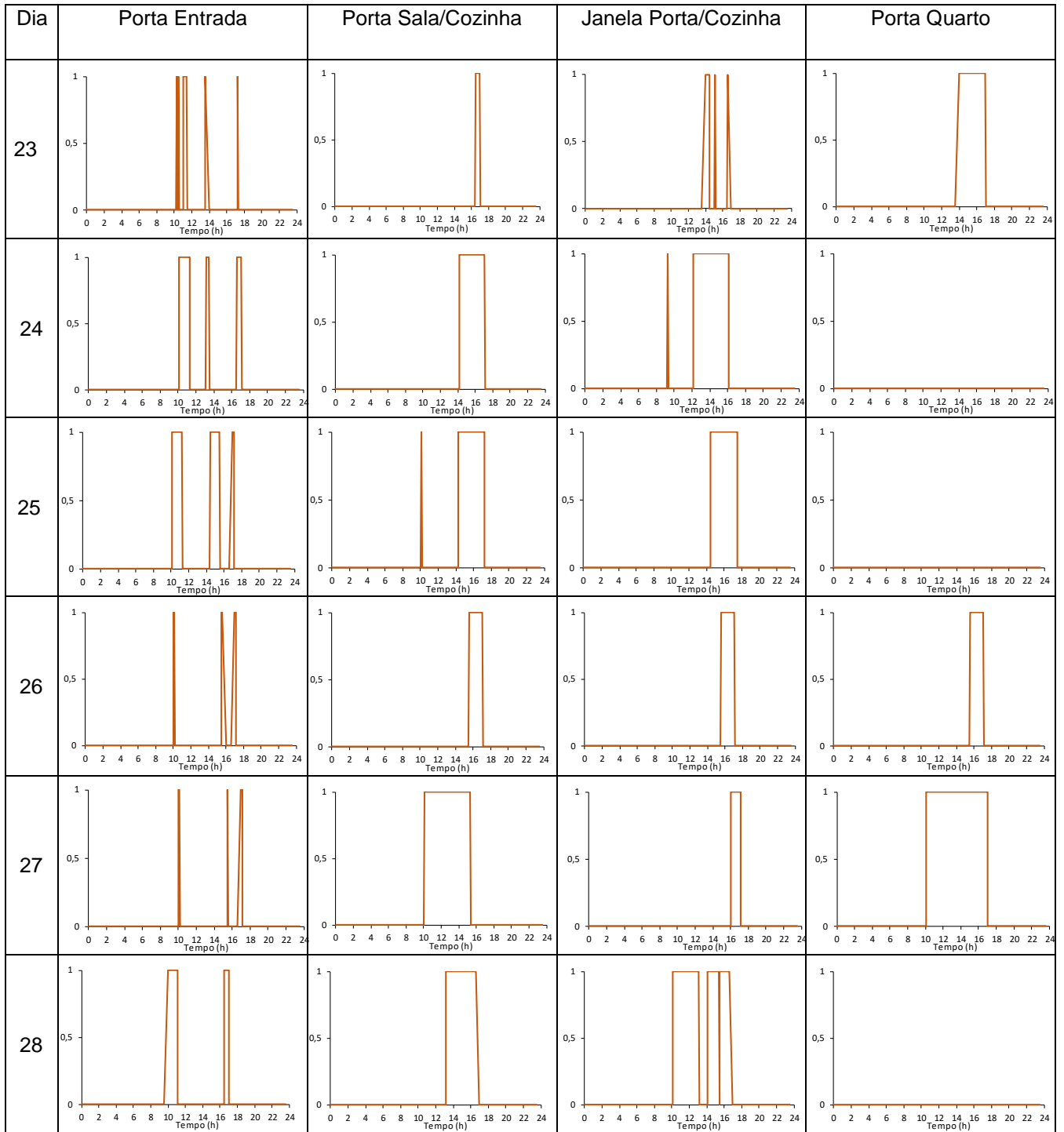


Tabela 14 - Gráficos de monitorização da abertura de portas e janelas da quarta semana de ocupação.



5

DISCUSSÃO GERAL DOS RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo irá ser introduzida uma discussão sobre os resultados obtidos no capítulo anterior fazendo uma análise geral dos diferentes perfis de ocupação. Os parâmetros que irão ser avaliados com maior detalhe serão os parâmetros interiores tais como, Humidade Relativa, CO₂ e temperatura interior, tendo sempre presente a influência dos parâmetros exterior nos mesmos e o tipo de ventilação utilizada. A potência utilizada pelos aparelhos da casa será também analisada de uma forma geral ao longo de cada semana de ocupação.

5.2. TEMPERATURA INTERIOR

Em relação à temperatura interior, nas semanas em que houve ocupação do protótipo, ou seja, perfil 1, perfil 3 e perfil 4, esta manteve-se constante com valores mínimos e máximos muito semelhantes tal como é apresentado na Fig. 93. Na segunda semana de estudo, em que não houve ocupação, os valores mínimos e máximos foram muito inferiores em relação às outras semanas de estudo. Deste modo pode-se concluir que a temperatura de conforto dos ocupantes é mais elevada do que a temperatura ambiente do protótipo, que é influenciada pela temperatura do exterior. No perfil 3 onde apenas se utilizou o ar condicionado como aparelho de climatização observamos temperaturas mínimas inferiores do que no perfil 4 onde obteve ventilação e climatização através da abertura de portas e janelas. Isto deve-se pela utilização de ar condicionado que é muito mais eficaz na diminuição e estabilização da temperatura interior comparativamente com o uso em simultâneo de meios passivos, que são mais variáveis.

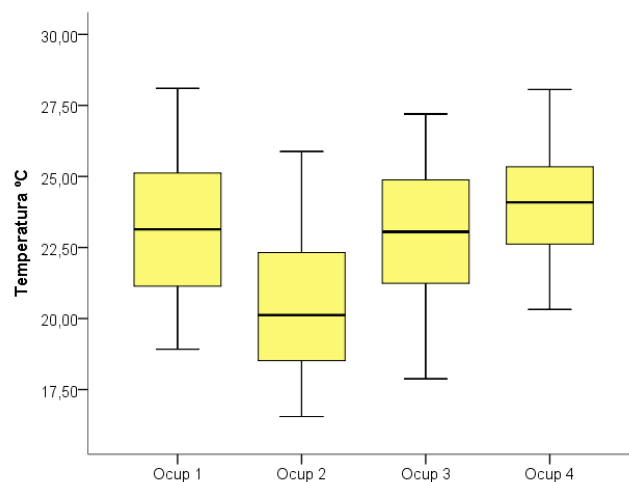


Fig. 93 - Temperatura interior registada ao longo dos diferentes tipo de ocupação.

5.3. NÍVEIS DE CO₂

Em relação aos níveis de CO₂, estes variaram bastante ao longo dos diferentes perfis de ocupação. Tal como é apresentado na figura Fig. 94, obteve-se níveis inferiores na semana sem ocupação, ocupação 2, como era esperado. No entanto, o perfil em que se obteve os níveis mais elevados de CO₂ foi a ocupação 1 onde compatibilizou o uso de sistemas mecânicos de ventilação e climatização com meios passivos como a abertura de portas e janelas. Este resultado não era o esperado visto que, com abertura de portas e janelas os níveis de CO₂ são bastante reduzidos tal como é apresentado na ocupação 4. Estes valores foram influenciados pelo clima do exterior em que se obteve temperaturas reduzidas durante a semana entre os 11°C e os 24,5 °C o que fez com que a vontade dos ocupantes não fosse a aberturas das portas e janelas, mas sim a utilização de aparelhos de climatização.

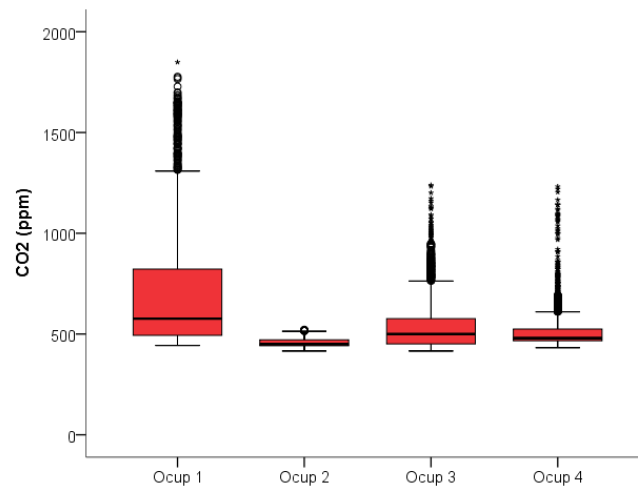


Fig. 94 - Níveis de CO₂ diários nos diferentes tipos de ocupação.

5.4. HUMIDADE RELATIVA

Em relação à humidade relativa interior, este parâmetro é muito influenciado pelo clima exterior e pela ocupação do protótipo visto que entre as 10h e as 17h se observou uma redução significativa da sua percentagem nas diferentes ocupações devido ao aumento da temperatura. Tal como podemos observar na Fig. 95, a ocupação com maior percentagem de humidade foi o perfil onde não houve ocupação do protótipo. A ocupação 1, apresentou percentagens inferiores de humidade, em relação à ocupação 3 e 4 devido à temperatura exterior que foi se apresentou reduzida entre 11°C e os 24,5°C. Nas ocupações 3 e 4 obteve-se valores máximos e mínimos muito semelhantes. É possível então concluir que os parâmetros que mais influenciam a humidade relativa interior é o clima exterior e a ocupação do protótipo, número de pessoas.

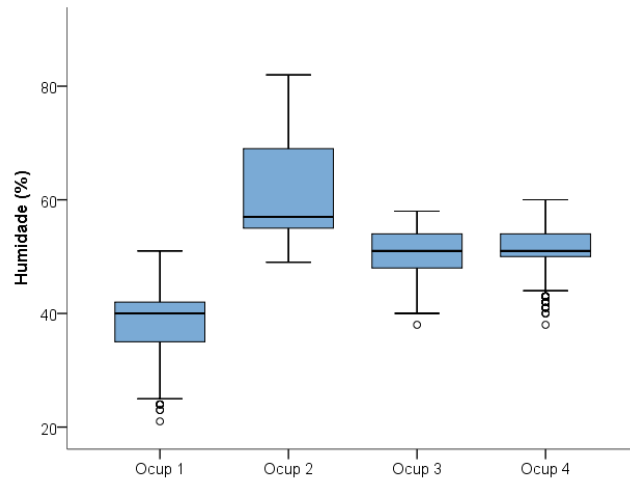


Fig. 95 - Percentagem de humidade relativa diária nos diferentes tipos de ocupação.

5.5. INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DOS OCUPANTES

Para poder analisar mais pormenorizadamente a influência do comportamento dos ocupantes no protótipo foram avaliados os gastos de energia e potência consumida de cada semana tipo de ocupação. De seguida foi analisado a sua influência nos parâmetros interiores tendo sido criados gráficos exemplo dos diferentes parâmetros como a Temperatura, CO₂ e Humidade Relativa, na divisória com maior ocupação (sala/cozinha), relacionados com a abertura das janelas e portas. Foram criados exemplos para as semanas em que houve abertura de portas e janelas que foram a ocupação tipo 1 e ocupação tipo 4.

5.5.1. ENERGIA E POTÊNCIA

No que diz respeito à potência e à energia consumida ao longo das 4 semanas de ocupação, foram obtidos dados de todos os aparelhos instalados na casa tais como os estores, iluminação, piso radiante, ar condicionado, VMC, equipamento ativo, eletrodomésticos, outros circuitos e geral. Os valores foram igualmente medidos de 5 em 5 minutos obtendo dados de potência no instante. Durante o perfil de ocupação tipo 1, os valores obtidos, apresentado no gráfico da Fig. 96, fornecem informações sobre a potência e energia máxima atingida ao longo da semana e em que fase do dia foi atingido esse valor máximo. Quanto à potência, obteve-se um valor máximo de 2,24 kW às 16h.

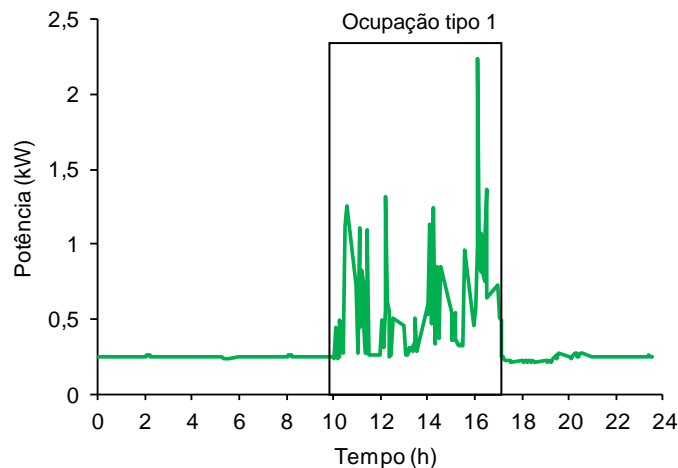


Fig. 96 - Gráfico da média semanal da potência (kW) utilizada do perfil de ocupação tipo 1.

Durante o perfil de ocupação tipo 2, semana sem ocupação, os valores obtidos, apresentados nos gráficos da Fig. 97, fornecem informações sobre a potência máxima atingida ao longo da semana e em que fase do dia foi atingido esse valor máximo. Relativamente à potência, entre as 10h e as 17h, obteve-se um valor máximo de 0,205 kW às 17h.

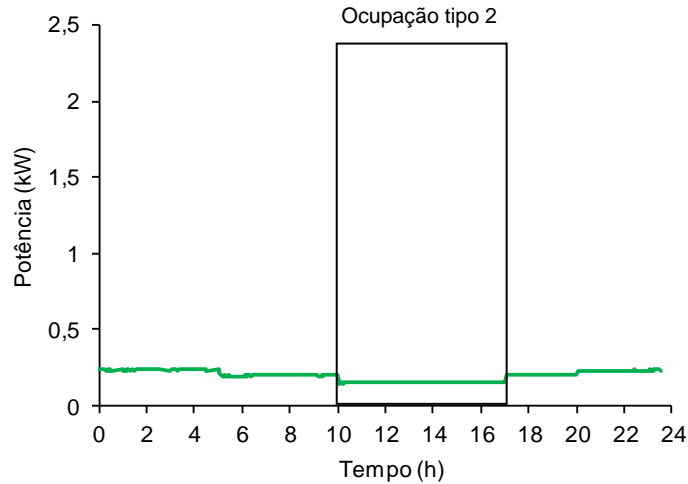


Fig. 97 - Gráfico da média semanal da potência (kW) consumida do perfil de ocupação tipo 2.

Durante o perfil de ocupação tipo 3, semana onde a ventilação foi apenas mecânica, os valores obtidos, apresentados nos gráficos da Fig. 98 fornecem informações sobre a potência máxima atingida ao longo da semana e em que fase do dia foi atingido esse valor máximo. Quanto à potência, entre as 10h e as 17h, obteve-se um valor máximo de 1,6 kW às 11h.

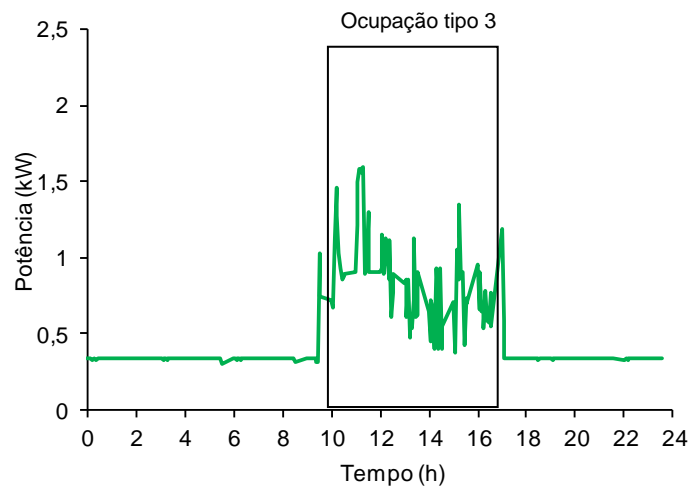


Fig. 98 - Gráfico da média semanal da potência (kW) do perfil de ocupação tipo 3.

Durante o perfil de ocupação tipo 4, semana onde a ventilação foi passiva através de janelas e portas, os valores obtidos, apresentados nos gráficos da Fig. 99, fornecem informações sobre a potência máxima atingida ao longo da semana e em que fase do dia foi atingido esse valor máximo. Quanto à potência, entre as 10h e as 17h, obteve-se um valor máximo de 0,61 kW às 16:30h.

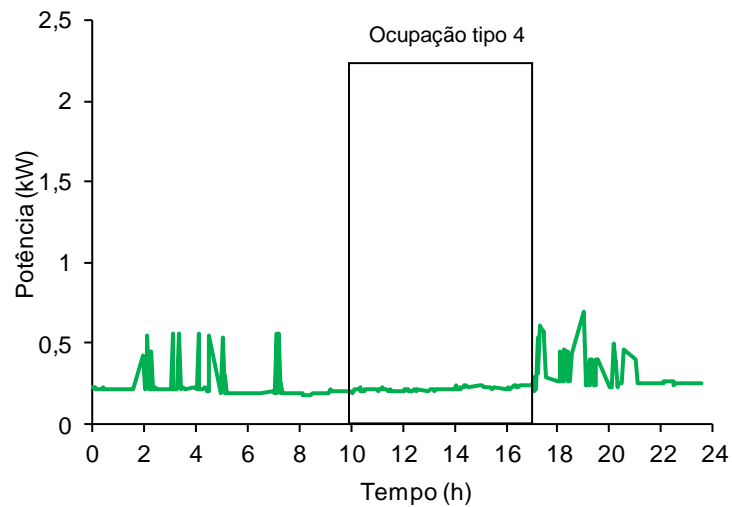


Fig. 99 - Gráfico da média semanal da potência (kW) consumida do perfil de ocupação tipo 4.

Em relação às 4 semanas de ocupação, podemos observar que o perfil 1 obteve valores mais elevados de consumo de potência em relação aos outros perfis. No perfil 2, apesar de não ter havido qualquer tipo de ocupação, obteve-se valores, mesmo que reduzidos, de consumo de potência e energia o que nos fornece informações sobre os gastos individuais do protótipo. Relativamente ao perfil 3, podemos concluir que este obteve valores de consumo de potência inferiores ao perfil 1 devido à superior temperatura exterior que se observou nessa semana. Como a temperatura foi elevada não foi muito necessário a climatização do protótipo o que fez com que o consumo de potência fosse inferior. No perfil 4, como a ventilação foi efetuada passivamente através de abertura de portas e janelas, a potência relativa à ventilação mecânica e à climatização foi nula o que nos forneceu valores bastantes reduzidos de potência. Os valores observados da potência utilizada fora do horário de ocupação devem-se aos gastos relativos à gestão da bateria e ao sistema de domótica.

5.5.2. PARÂMETROS INTERIORES

Para poder analisar mais pormenorizadamente a influência do comportamento dos ocupantes no protótipo, foram criados gráficos exemplo dos diferentes parâmetros interiores como a Temperatura, CO₂ e, Humidade Relativa, na divisória com maior ocupação (sala/cozinha), relacionados com a abertura das janelas e portas, tal como é apresentado da Fig. 100 à Fig. 102. Foram criados exemplos para as semanas em que houve abertura de portas e janelas que foram a ocupação tipo 1 e ocupação tipo 4.

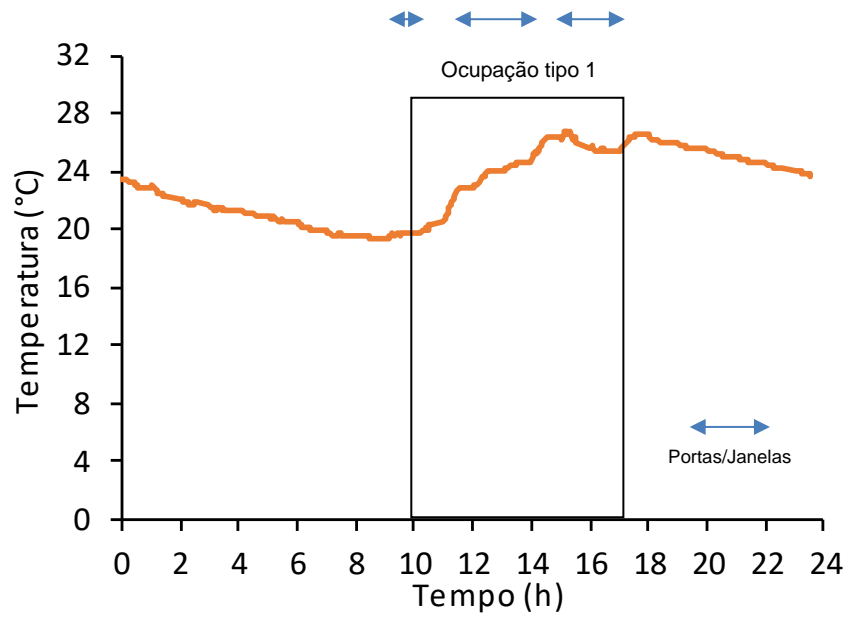


Fig. 100 - Exemplo de gráfico da temperatura em função do tempo o dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.

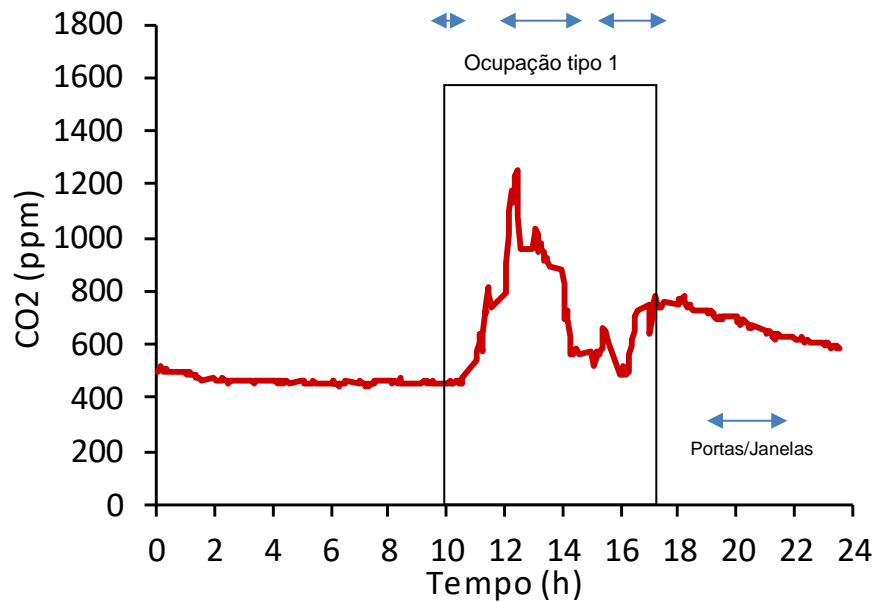


Fig. 101 - Gráfico exemplo dos níveis de CO₂ em função do tempo no dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.

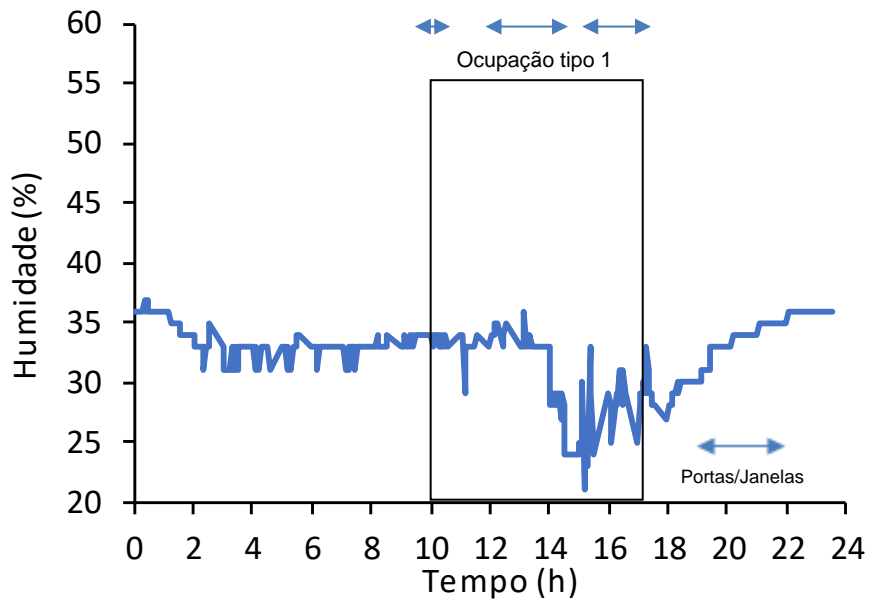


Fig. 102 - Gráfico exemplo da percentagem de Humidade Relativa em função do tempo no dia 28 de março relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 1.

Como podemos observar nos gráficos anteriores, do dia 28 de maio da semana da ocupação tipo 1, os parâmetros em que é possível observar alguma influência, mesmo que pequena, da abertura de portas e janelas foram o CO_2 e a temperatura interior, com algumas depressões visíveis após a abertura das janelas. Quando existe uma abertura de uma janela ou uma porta, durante alguns minutos, a temperatura tende a aproximar-se da temperatura exterior, diminuindo deste modo a temperatura interior, gradualmente. Por outro lado, os níveis de CO_2 , tendem a diminuir bastante pois existe uma renovação do ar interior através da movimentação do ar exterior para o interior. No entanto, as maiores depressões observaram-se na hora de almoço dos ocupantes, visto que, o protótipo não teve ocupação durante esse intervalo de tempo. Na ocupação tipo 4, onde também se obteve influência da abertura de janelas e portas, os gráficos obtidos foram os apresentados nas figuras seguintes, Fig. 103 à Fig. 105.

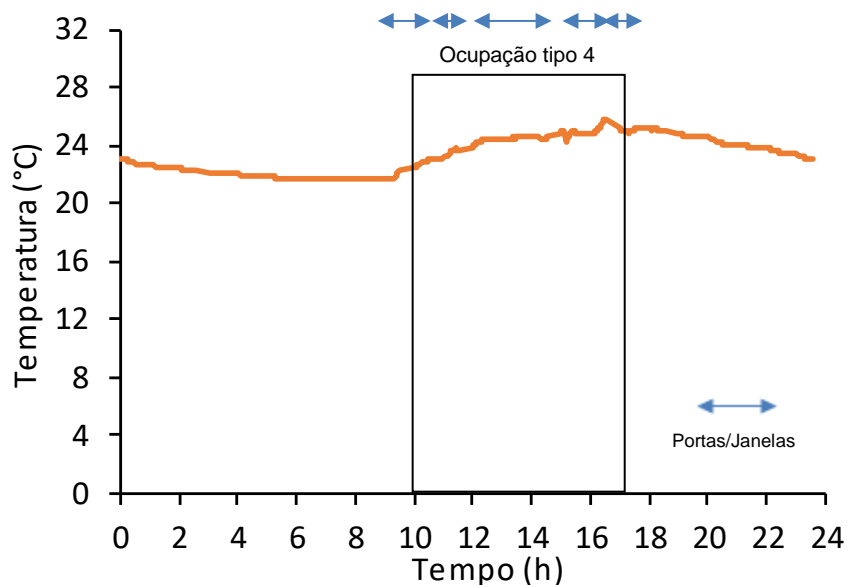


Fig. 103- Exemplo de gráfico da temperatura em função do tempo o dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.

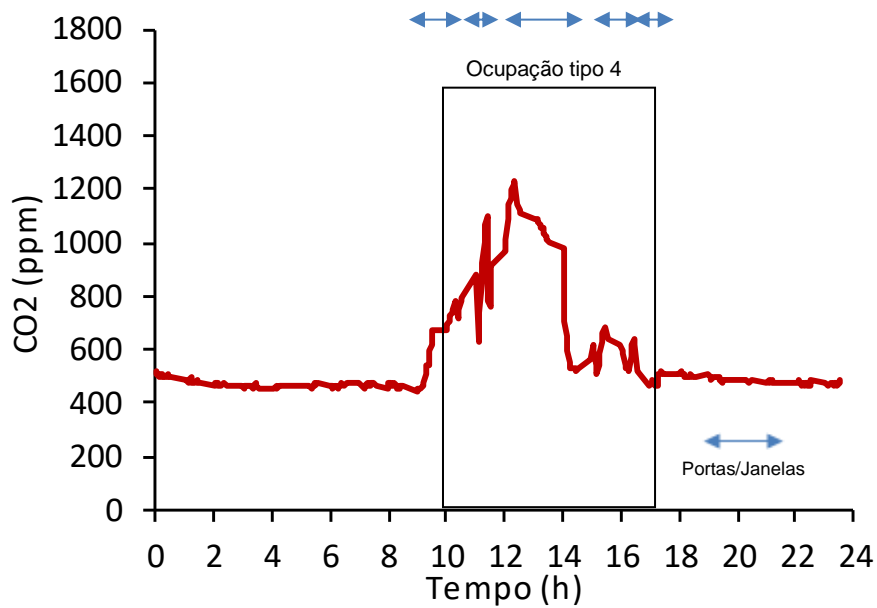


Fig. 104 - Gráfico exemplo dos níveis de CO₂ em função do tempo no dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.

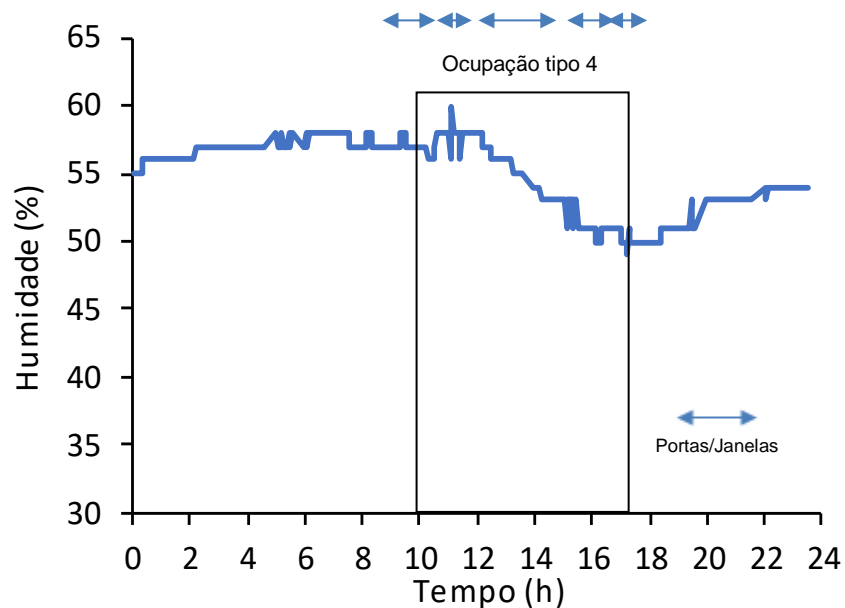


Fig. 105 - Gráfico exemplo da percentagem de Humidade Relativa em função do tempo no dia 23 de maio relacionado com a abertura de portas e janelas da ocupação tipo 4.

Na quarta semana de ocupação tipo 4, como foi possível observar nas figuras anteriores, a abertura das portas e janelas voltou a ter maior impacto nos níveis de CO₂ e temperatura interior, provocando um decréscimo dos valores dos mesmos. Como houve bastantes aberturas das portas e janelas durante esta semana, a temperatura não teve grande crescimento nem decréscimo, mantendo-se bastante constante. Em relação aos níveis de CO₂, este voltou a ter uma maior depressão dos valores entre as 12h e as 14h que coincide com a hora de almoço dos ocupantes.

6 CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES FINAIS

Ao concluir este trabalho é possível afirmar que o objetivo geral desta tese de mestrado foi alcançado. O comportamento do protótipo resultante dos diferentes perfis de ocupação criados foi estudado com sucesso. As contribuições deste trabalho inserem-se na área das necessidades dos ocupantes a nível de qualidade do ar e reduzidos gastos energéticos. Considera-se que os objetivos intermédios, inicialmente propostos, foram plenamente atingidos apesar das dificuldades obtidas nos dados dos sensores que muitas vezes apresentaram erros devido a avarias. No entanto, conseguiram-se criar diferentes perfis de ocupação que permitiram obter os impactos dos mesmos ao nível da temperatura interior, humidade relativa, concentração de CO₂ e consumo de potência.

Através do estado da arte apresentado no capítulo 2 foi possível retirar as seguintes conclusões:

- O conceito nZEB é uma necessidade urgente para a redução do uso de energia e emissão de gases de efeito estufa durante a vida útil de um edifício.
- Políticas e diretrizes emitidas pela União Europeia estão a facilitar a introdução dos nZEB, impondo a todos os estados membros metas de implementação nos edifícios entre 2018 e 2020.
- Os edifícios inteligentes surgem como complemento dos edifícios nZEB de forma a obter redução dos gastos energéticos através da monitorização de um ou vários perfis de conforto dos ocupantes.

No capítulo 3, foi possível conhecer e estudar mais pormenorizadamente o sistema construtivo da empresa DreamDomus especificando todos os equipamentos instalados no protótipo que auxiliaram no estudo efetuado, tais como:

- Sensores de parâmetros interiores: humidade relativa, CO₂, temperatura interior;
- Sensores de parâmetros exteriores: luminosidade, temperatura exterior, radiação, vento, chuva;
- Sensores de medição de potência e energia de todos os aparelhos instalados no protótipo;
- Sensores de abertura de portas e janelas;
- VMC e ar condicionado.

No capítulo 4, conseguiu-se detetar e quantificar os impactos no protótipo de um conjunto de ações pré-definidas com 4 perfis de ocupação: livre, sem ocupação, com ventilação ativa e ventilação passiva. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir o seguinte:

- A temperatura interior é influenciada pelo tipo de ocupação tendo tendência a aumentar com exceção quando a ventilação é efetuada através da abertura de portas e/ou janelas onde esta se tende a equilibrar com a temperatura exterior.
- Os níveis de CO₂, tal como era esperado, são bastante influenciados pelo tipo de ocupação do protótipo sendo que os sensores conseguiram detetar pequenas alterações em termos dos sistemas de ventilação. Durante a ocupação é possível observar um aumento dos níveis aquando da entrada dos voluntários no protótipo e diminuições ao longo da ocupação devido a abertura de portas e janelas e saída e entrada dos voluntários.
- A percentagem de humidade observa uma diminuição com a ocupação do protótipo sendo que esta diminui com o aumento da temperatura.

No capítulo 5, discutiu-se os resultados obtidos de forma geral entre os diferentes perfis de ocupação, onde foi possível retirar as seguintes conclusões:

- Os perfis tipo dos ocupantes têm uma base que corresponde aos períodos sem ocupação, existindo depois divergências a esse perfil base provocadas pelo tipo de ações efetuadas pelos ocupantes tendo em conta os perfis definidos. Através da análise do perfil 2, onde não houve qualquer tipo de ocupação do protótipo, foi possível concluir que o protótipo tem gastos individuais de energia e potência, mesmo que reduzidos, e níveis constantes de CO₂, humidade relativa e temperatura interior. Estes valores de gastos obtidos estão relacionados com o sistema de domótica existente no protótipo e gestão da bateria.
- A utilização de ventilação ativa através de VMC obtém níveis superiores de CO₂ do que a ventilação passiva através da abertura de portas e janelas devido à maior massa de renovação de ar existente.
- Há um decréscimo dos resultados da percentagem de humidade relativa devido à utilização de ar condicionado nas divisórias.
- A nível energético obteve-se valores mais elevados de gastos nos perfis de ocupação onde se utilizou a VMC, o ar condicionado e o piso radiante, no entanto foi possível chegar a valores de temperatura interior superiores em relação às temperaturas exteriores registadas durante a semana.
- A utilização de sistemas de ventilação passiva, como a abertura de portas e janelas, criou decréscimos dos níveis de CO₂ e temperatura interior devido à renovação do ar com trocas entre o interior e o exterior. Os níveis existentes de CO₂ observam depressões e a temperatura interior tende a igualar a temperatura exterior. A percentagem de humidade relativa não apresenta grandes variações devido à ventilação passiva mantendo os valores semelhantes à ventilação ativa.
- Ao nível da temperatura interior, os seus ocupantes, através do condicionamento por meios unicamente passivos conduziram a valores superiores aos obtidos utilizando apenas meios ativos. Isto deveu-se à falta de controlo da temperatura através do ar condicionado que fez com que a temperatura interior se aproximasse da temperatura exterior. No perfil onde não houve qualquer tipo de ocupação observou-se temperaturas inferiores devido à inexistência de ocupação nem utilização de qualquer tipo de ventilação.
- Relativamente aos níveis de CO₂, o perfil de ocupação em que se utilizou apenas ventilação ativa, obteve-se valores inferiores ao perfil onde foram utilizados meios ativos. A razão pela qual se obteve valores tão elevados no primeiro perfil de ocupação, onde se utilizou ventilação

ativa e passiva, em relação aos outros perfis deveu-se à influência da temperatura exterior reduzida o que provocou uma utilização mais constante da ventilação ativa. A mudança constante de ocupantes durante o dia devido a dificuldade em encontrar voluntários disponíveis durante essa semana também criou uma grande variação dos níveis de CO₂.

- A percentagem de humidade relativa apenas obteve uma maior variação no perfil 2 onde não houve qualquer tipo de utilização obtendo um grande crescimento. No perfil 1 registou-se valores inferiores devido à utilização constante do ar condicionado.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Esta dissertação não esgotou as possibilidades de investigação do comportamento do protótipo da DreamDomus resultante da aplicação de perfis tipo de ocupação definidos que tentam caminhar no sentido de ações frequentes do quotidiano. Para além disso, o estudo do comportamento de edifícios nZEB é uma área que tem merecido a atenção de cada vez mais investigadores, existindo um crescimento progressivo de publicações na área. Deste modo, é exequível enumerar alguns assuntos que poderão vir a ser alvos de projetos de investigação e desenvolvimento, no seguimento deste tema:

- Os perfis tipo criados neste trabalho são uma pequena amostra de todos os perfis que podem vir a ser estudados in situ no protótipo, como por exemplo, com horários noturnos;
- Existe também a possibilidade da criação de um evento, através da plataforma online, com um perfil monitorizado pré-definido, ou seja, onde os ocupantes não têm qualquer controlo, e nesse caso seria avaliado o conforto pessoal dos ocupantes;
- Avaliação do estado da bateria, ao longo das diferentes ocupações, fazendo uma comparação dos diferentes tipos de perfis a nível dos gastos energéticos obtidos.
- Avaliação da capacidade da bateria em diferentes perfis comparando, por exemplo, os diurnos com os noturnos.
- Estudar mais profundamente os consumos de energia e qual a produção.

7

BIBLIOGRAFIA

- 2010/31/EU, Directive. 2010. *Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Official Journal of the European Union*. https://doi.org/doi:10.3000/17252555.L_2010.153.eng.
- 2012/27/EU, Directive. 2012. *Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Outubro de 2012. Jornal Oficial da União Europeia*. https://www.portugal2020.pt/Portal2020/Media/Default/Docs/Legislacao/Nacional/DiretivaUE2012_27.pdf.
- 2013 edition incorporating 2016 amendments-for use in England* L1A Conservation of fuel and power in new dwellings APPROVED DOCUMENT L1A *Conservation of fuel and power The Building Regulations 2010*. 2013. Acedido 1 de Junho de 2019. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/540326/BR_PDF_AD_L1A_2013_with_2016_amendments.pdf.
- 2018/844/EU, Directive. 2018. *DIRECTIVE (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union*.
- Alberto Santos, José, João Paulo Portugal Co-orientador, e Mário Jorge Sousa. 2009. «Sistema Domótico baseado em redes Zigbee». <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59411/1/000136077.pdf>.
- Andersen, Rune Vinther, Jørn Toftum, Klaus Kaae Andersen, e Bjarne W. Olesen. 2009. «Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings». *Energy and Buildings* 41 (1): 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.07.004>.
- Baker, N. 2005. «ZigBee and Bluetooth strengths and weaknesses for industrial applications». *Computing & Control Engineering Journal* 16 (2): 20–25. <https://doi.org/10.1049/cce:20050204>.
- Barbosa, Ricardo, e Manuela Almeida. 2018. «A prefabricação modular na reabilitação energética como contributo para assegurar edifícios NZEB», 2018.
- BPIE. 2015. «Nearly Zero Energy Buildings Across Europe». http://episcope.eu/fileadmin/episcope/public/docs/reports/EPISCOPE_SR1_NewBuildingsInTypologies.pdf.
- D'Agostino, Delia. 2015. «Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States». *Journal of Building Engineering* 1: 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.job.2015.01.002>.
- D'Oca, Simona, Valentina Fabi, Stefano P. Corgnati, e Rune Korsholm Andersen. 2014. «Effect of thermostat and window opening occupant behavior models on energy use in homes». *Building Simulation* 7 (6): 683–94. <https://doi.org/10.1007/s12273-014-0191-6>.

- Dall'O', Giuliano, Elisa Bruni, e Luca Sarto. 2013. «An Italian pilot project for zero energy buildings: Towards a quality-driven approach». *Renewable Energy* 50 (Fevereiro): 840–46. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2012.08.035>.
- DreamDomus. sem data. «Dreamdomus - Domótica E Projectos Engenharia, Lda.» Acedido 28 de Maio de 2019. <https://dreamdomus.com/pt/>.
- Ecofys. 2014. «Overview of Member States information on NZEBs. Working version of the progress report - final report».
- Eduardo. «TECNOSOLUTION: Cabeamento de rede: Cabo Par Trançado». Acedido 2 de Junho de 2019. <http://tecnosolution.blogspot.com/2012/07/cabeamento-de-rede-cabo-par-trancado.html>.
- Emprego, Ministério da Economia e do. 2013. *Decreto-lei 118/2013. Diário da República*. Vol. 159.
- Eurostat. 2000. Harmonized European Time User Survey - HETUS. editado por Eurostat. <https://www.h5.scb.se/tus/tus/default.htm>.
- Garcia, Juan, e Lukas Kranzl. 2018. «Ambition Levels of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) Definitions: An Approach for Cross-Country Comparison». *Buildings* 8 (10): 143. <https://doi.org/10.3390/buildings8100143>.
- Gauna, J. 2011. «Hacia los edificios sin hipoteca energética: Passivhaus – la casa passiva» capítulo 1. www.madrid.org.
- Gill, Zachary M, Michael J Tierney, Ian M Pegg, e Neil Allan. 2010. «Low-energy dwellings: the contribution of behaviours to actual performance». *Building Research & Information* 38 (5): 491–508. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.505371>.
- Golmie, N, N Chevrollier, e O Rebala. 2003. «Bluetooth and WLAN coexistence: challenges and solutions». *IEEE Wireless Communications* 10 (6): 22–29. <https://doi.org/10.1109/MWC.2003.1265849>.
- Gonçalves, H., e M. J. N. Oliveira Panão. 2013. «Pensar a Certificação Energética para Edifícios de Energia Zero. Revista da Ordem dos Engenheiros».
- Hu, Ming, e Yueming Qiu. 2019. «A comparison of building energy codes and policies in the USA, Germany, and China: progress toward the net-zero building goal in three countries». *Clean Technologies and Environmental Policy* 21 (2): 291–305. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1636-x>.
- INE, Instituto Nacional de Estatística e Direção Geral de Energia e Geologia DGEG. 2011. *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*.
- Jiang, L I, Da-you Llu, e B O Yang. 2004. «Smart research». *3rd International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, n. August: 659–63.
- Khusvinder Gill, Shuang-Hua Yang, Fang Yao, and Xin Lu. 2009. «A ZigBee-based home automation system». *IEEE Transactions on Consumer Electronics* 56 (4): 2201–7. <https://doi.org/10.1109/TCE.2010.5681091>.
- Kim, Yang-Seon, e Jelena Srebric. 2017. «Impact of occupancy rates on the building electricity consumption in commercial buildings». *Energy and Buildings* 138 (Março): 591–600. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2016.12.056>.
- KNX Association. sem data. «KNX Association KNX Association [Official website]». Acedido 3 de Junho de 2019. <https://www.knx.org/knx-en/for-professionals/index.php>.
- Kurnitski, J., et al. 2014. «nZEB definitions in Europe».
- L2A Conservation of fuel and power in new buildings other than dwellings APPROVED DOCUMENT L2A *Conservation of fuel and power The Building Regulations 2010*, 2013 edition

- incorporating 2016 amendments-for use in England*». sem data. Acedido 1 de Junho de 2019. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/540328/BR_PDF_AD_L2A_2013_with_2016_amendments.pdf.
- Lima. «redes de computadores | Desamarrando a Rede». Acedido 2 de Junho de 2019. <https://desamarrandoarede.wordpress.com/tag/redes-de-computadores/>.
- Marcus, S. J. 1983. «THE “INTELLIGENT” BUILDINGS - The New York Times». 1983. <https://www.nytimes.com/1983/12/01/business/the-intelligent-buildings.html>.
- Melfi, Ryan, Ben Rosenblum, Bruce Nordman, e Ken Christensen. 2011. «Measuring building occupancy using existing network infrastructure». *2011 International Green Computing Conference and Workshops, IGCC 2011*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/IGCC.2011.6008560>.
- Musall, Eike, Tobias Weiss, Karsten Voss, Aurélie Lenoir, Michael Donn, Shaan Cory, e François Garde³. 2010. «Net Zero Energy Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Building Projects». <https://www.iea-shc.iea-shc.iea-shc.iea-shc.org/data/sites/1/publications/STC134895.pdf>.
- OIB-330.6-009. 2015. *OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz; OIB-330.6-009/15; Österreichisches Institut für Bautechnik: Vienna, Austria, 2015*. https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_26.03.15.pdf.
- Portaria_nº98/2019. 2019. *Portaria n.º 349-B/2013 - Portaria n.º 98/2019*.
- Presidencia, Ministerio DE La. 2013. «3904 Real Decreto 235/2013, de 5 de ABRIL». http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/Royal Decree 235_2013 Energy Certification of Buildings.pdf.
- Reda, Francesco, e Zarrin Fatima. 2019. «Northern European nearly zero energy building concepts for apartment buildings using integrated solar technologies and dynamic occupancy profile: Focus on Finland and other Northern European countries». *Applied Energy* 237 (January): 598–617. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.029>.
- Reinisch, Christian, Mario J Kofler, Félix Iglesias, e Wolfgang Kastner. 2011. «ThinkHome Energy Efficiency in Future Smart Homes». *EURASIP Journal on Embedded Systems* 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/104617>.
- Rolfsman, Björn. 2002. «CO2 emission consequences of energy measures in buildings». *Building and Environment* 37 (12): 1421–30. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00114-7](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00114-7).
- Sartori, Igor, Assunta Napolitano, e Karsten Voss. 2012. «Net zero energy buildings: A consistent definition framework». *Energy and Buildings* 48 (Maio): 220–32. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2012.01.032>.
- Telecicable. sem data. «Tienda de cables y conexión electrónica profesional: TELECOABLE». Acedido 2 de Junho de 2019. <https://www.telecicable.com/>.
- Thyholt, M., e A. G. Hestnes. 2008. «Heat supply to low-energy buildings in district heating areas. Analyses of CO2 emissions and electricity supply security». *Energy and Buildings* 40 (2): 131–39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.01.016>.
- Torcellini, Paul, Shanti Pless, e Michael Deru. 2006. «Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy (2006)». <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?jsessionid=7A6CB1922DDD6AE8242F6344EE07BA14?doi=10.1.1.546.7&rep=rep1&type=pdf>.
- Wang, Shengwei. 2010. *Smart Buildig and Building Automation*.
- Wei, Shen, Rory Jones, e Pieter de Wilde. 2014. «Driving factors for occupant-controlled space heating in residential buildings». *Energy and Buildings* 70 (Fevereiro): 36–44.

<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2013.11.001>.

Yan, Da, William O'Brien, Tianzhen Hong, Xiaohang Feng, H. Burak Gunay, Farhang Tahmasebi, e Ardeshir Mahdavi. 2015. «Occupant behavior modeling for building performance simulation: Current state and future challenges». *Energy and Buildings* 107 (Novembro): 264–78.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.08.032>.