



CONTRIBUTO PARA O PROJETO DE UM ZELAB - MÓDULO DE SERVIÇOS DE APOIO COMUM

CARLOS ANDRE RIBEIRO AFONSO

novembro de 2018

CONTRIBUTO PARA O PROJETO DE UM ZELAB - MÓDULO DE SERVIÇOS DE APOIO COMUM

Carlos André Ribeiro Afonso

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

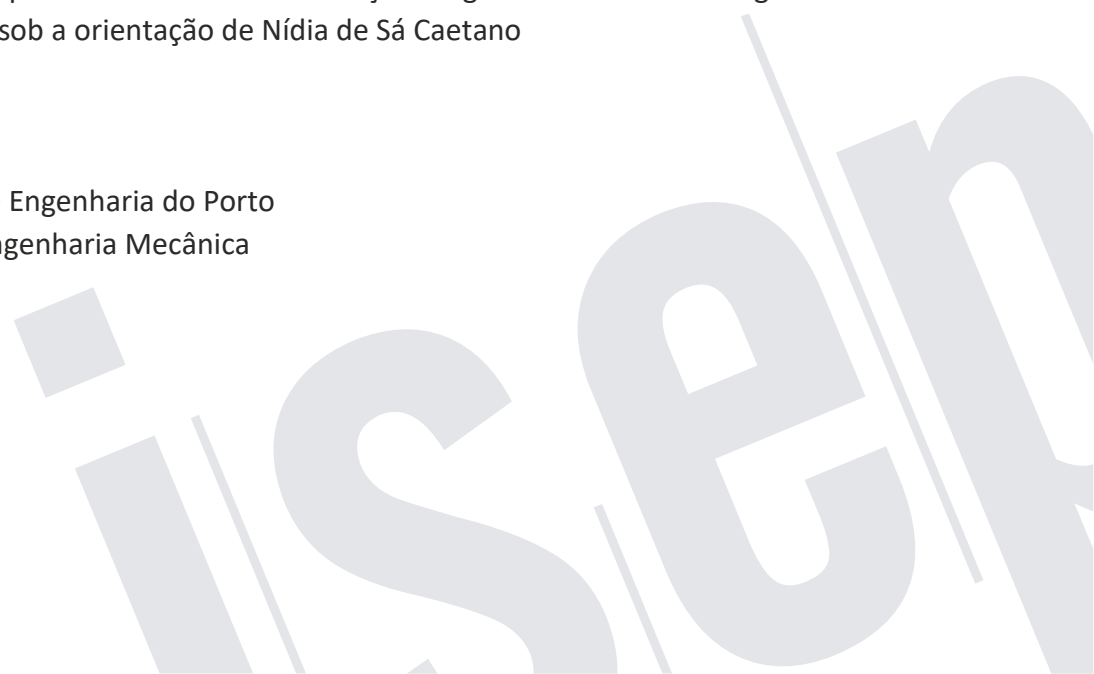
CONTRIBUTO PARA O PROJETO DE UM ZELAB - MÓDULO DE SERVIÇOS DE APOIO COMUM

Carlos André Ribeiro Afonso
1090719

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Nídia de Sá Caetano

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Doutora Elza Maria Morais Fonseca

Professor Adjunto do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Nídia de Sá Caetano

Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Doutor Vítor Manuel da Silva Leal

Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Professora Doutora Nídia de Sá Caetano, pela disponibilidade, conselhos e orientação que foram determinantes nas diversas fases da realização desta dissertação.

A todos os meus amigos, que acompanharam o meu percurso académico, pela ajuda e apoio em todos os momentos, sem eles seria certamente mais complicado.

À minha namorada pelo apoio, paciência e compreensão demonstradas ao longo de todo este percurso, principalmente nas fases de maior sobrecarga de trabalho.

Por fim, mas os mais importantes, agradeço aos meus pais e aos meus avós, por me oferecerem todas as condições para a conclusão da minha formação académica.

PALAVRAS CHAVE

nZEB, Construção Modular, Laboratórios Vivos, Eficiência Energética

RESUMO

Devido ao rápido crescimento do setor dos serviços, o consumo energético nos edifícios aumentou de forma significativa nos últimos anos, e começa agora a fazer-se sentir o impacto daí resultante. Assim, tem vindo a ser impostos requisitos construtivos específicos para dar resposta às exigências ao nível do aumento da eficiência e da redução dos consumos energéticos, originando os denominados *Nearly Zero Energy Buildings* (nZEB).

É neste contexto que está integrado o ZELab. Este edifício visa combinar alta eficiência energética com uma geometria modular, que permite a criação de novos espaços, funcionando como um edifício piloto, que possa ser utilizado pelos alunos e docentes para apoio à investigação e desenvolvimento de outros projetos nas mais variadas áreas da engenharia.

Este trabalho segue uma linha de raciocínio lógico, começando por identificar as estratégias e tecnologias para a conceção e o *design* dos nZEB e os tipos de construção modular. Uma vez realizado esse trabalho de pesquisa, o caso de estudo foca-se no contributo para o projeto de um módulo de serviços de apoio comum, compreendendo sala de reuniões, casas de banho, depósito de reagentes e receção, sendo apresentadas soluções para a estrutura e envolvente do edifício.

O trabalho contempla também a simulação no software HAP, que permitiu o cálculo das cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento, de acordo com as soluções propostas para a envolvente bem como a ocupação prevista, equipamentos elétricos e iluminação.

KEYWORDS

Energy Efficiency, Living Labs, Modular Construction, nZEB

ABSTRACT

Energy consumption in buildings has significantly increased in recent years, and the resulting impacts are now beginning to show. Thus, specific building requirements have been imposed to meet the requirements of increased efficiency and reduced energy consumption, leading to the so-called Nearly Zero Energy Buildings (nnZEB).

It is in this context that ZELab is being thought. This building aims to combine high energy efficiency with a modular geometry, which allows the creation of new spaces, functioning as a pilot building, that can be used by students and their professors to support the research and development of other projects in the different fields of engineering.

This work follows a line of logical reasoning, beginning with the identification of the strategies and technologies for the conception and project of the nZEB and the types of modular construction. Once this research was carried out, the case study focuses on the contribution to the design of a common support services module, comprising a meeting room, bathrooms, reagent depot and reception, proposing solutions to the structure and surroundings of the building.

The work also includes the simulation using the HAP software, which allowed the calculation of the thermal loads of cooling and heating, according to the proposed solutions for the surroundings as well as the planned occupation, electrical equipment and lighting.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

| | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ADENE | Agência Nacional de Energia |
| AQS | Águas Quentes Sanitárias |
| ASHRAE | <i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i> |
| AVAC | Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado |
| AVC | Avaliação do Ciclo de Vida |
| BIM | <i>Building Information Modeling</i> |
| CFBE | Consumo Final Bruto de Energia |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| DGEG | Direção Geral de Energia e Geologia |
| EM | Estados Membros |
| EUA | Estados Unidos da América |
| EPBD | <i>Energy Performance in Buildings Directive</i> |
| FER | Fontes de Energia Renovável |
| FF | Fator de Forma |
| FV | Fotovoltaica |
| HAP | <i>Hourly Analysis Program</i> |
| GEE | Gases de Efeito de Estufa |
| LED | <i>Light Emitting Diode</i> |
| LNEG | Laboratório Nacional de Energia e Geologia |
| LSF | <i>Light Steel Framing</i> |
| MIT | <i>Massachusetts Institute of Technology</i> |
| nZEB | <i>Nearly Zero Energy Building</i> |
| NZEB | <i>Net Zero Energy Building</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| OSB | <i>Oriented Strand Board</i> |
| RCCTE | Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios |
| RECS | Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços |

| | |
|-------|-------------------------------------------------------------------|
| REH | Regulamento dos Edifícios de Habitação |
| RPH | Renovações Por Hora |
| RSECE | Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios |
| SCE | Sistema de Certificação Energética |
| UE | União Europeia |
| VAC | Volume de Ar Constante |
| VAV | Volume de Ar Variável |
| VGS | <i>Vertical Greening Systems</i> |
| VRV | Volume de Refrigerante Variável |
| ZEB | <i>Zero Energy Building</i> |

Lista de Símbolos

| | |
|---------------|------------------------------------|
| U | Coeficiente de Transmissão Térmica |
| λ | Condutibilidade Térmica |
| ε | Eficácia |
| g_{\perp} | Fator solar vidro |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - CONTRIBUTO DAS FER NO CFBE EM PORTUGAL [1]. | 28 |
| FIGURA 2 – DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA FINAL POR SETOR NA UE28, DADOS DE 2016 [3]. | 29 |
| FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA NO SETOR DOS SERVIÇOS EM PORTUGAL (ADAPTADO DE [4]). | 30 |
| FIGURA 4 – PENSAMENTO ESTRATÉGICO PARA MELHORAR O NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS EDIFÍCIOS (ADAPTADO DE [6]). | 31 |
| FIGURA 5 - NECESSIDADES DE PRODUÇÃO VS. ENERGIA PRODUZIDA (ADAPTADO DE [11]). | 38 |
| FIGURA 6 – EVOLUÇÃO LEGISLATIVA NACIONAL RELACIONADA COM ENERGIA (E CONFORTO) NOS EDIFÍCIOS [28]. | 45 |
| FIGURA 7 - FATORES DE FORMA PARA DIFERENTES TIPOLOGIAS DE EDIFÍCIO (ADAPTADO DE [41]). | 50 |
| FIGURA 8 - ZONAMENTO CLIMÁTICO DE PORTUGAL CONTINENTAL [45]. | 51 |
| FIGURA 9 - RADIAÇÃO SOLAR NAS FACHADAS [46]. | 52 |
| FIGURA 10 - PRINCIPAIS PONTOS DE PERDA ENERGÉTICA NUMA HABITAÇÃO. | 53 |
| FIGURA 11 – TIPOS DE ISOLAMENTO E RESPECTIVOS VALORES DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA, $[W/(M.°C)]$ [48]. | 54 |
| FIGURA 12 - APLICAÇÃO DO AGLOMERADO PURO EXPANDIDO NO ISOLAMENTO EM FACHADAS – ETICS [51]. | 56 |
| FIGURA 13 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO FLUXO DE AR NUMA FACHADA VENTILADA [53]. | 57 |
| FIGURA 14 – SISTEMA VERDES VERTICAIS (VGS): CATEGORIAS E EXEMPLOS [54]. | 58 |
| FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DO ISOLAMENTO NAS COBERTURAS AO LONGO DOS ANOS [57]. | 59 |
| FIGURA 16 – ESTRATÉGIA DE COLOCAÇÃO DE ISOLAMENTO NAS COBERTURAS TENDO EM CONTA O TIPO DE UTILIZAÇÃO DO ESPAÇO, [57]. | 60 |
| FIGURA 17 – COBERTURA VERDE DA ESCOLA DE ARTE, DESIGN E COMUNICAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE NANYANG, EM SINGAPURA. | 62 |
| FIGURA 18 - ESQUEMA DOS VÁRIOS COMPONENTES DE UMA COBERTURA VERDE, [60]. | 62 |
| FIGURA 19 – ETIQUETAGEM ENERGÉTICA DAS JANELAS, [62]. | 65 |
| FIGURA 20 - TIPOS DE SISTEMAS DE SOMBREAMENTO EXISTENTES, [63]. | 66 |
| FIGURA 21 - SISTEMA DE GANHO DIRETO, (ADAPTADO DE [46]). | 69 |
| FIGURA 22 - SISTEMA DE GANHO INDIRETO, PAREDE DE TROMBE, [46]. | 70 |
| FIGURA 23 - SISTEMA DE GANHOS ISOLADOS, [46]. | 71 |
| FIGURA 24 – ESQUEMA EXEMPLIFICATIVO DE UM SISTEMA DE ARREFECIMENTO PASSIVO POR VENTILAÇÃO NATURAL. | 72 |
| FIGURA 25 - SISTEMA DE VENTILAÇÃO CRUZADA.[66] | 72 |
| FIGURA 26 – SISTEMA DE EXTRAÇÃO DO AR POR EFEITO CHAMINÉ, [66]. | 73 |
| FIGURA 27 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA CHAMINÉ SOLAR. | 74 |
| FIGURA 28 – SISTEMA DE VENTILAÇÃO COM ASPIRADOR ESTÁTICO[66]. | 74 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 29 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DO ARREFECIMENTO EVAPORATIVO [46]. | 75 |
| FIGURA 30 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO ARREFECIMENTO RADIOATIVO [46]. | 76 |
| FIGURA 31 - ARREFECIMENTO DO INTERIOR ATRAVÉS DE TUBOS ENTERRADOS NO SOLO.[46] | 76 |
| FIGURA 32 – ESCALA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, [70]. | 78 |
| FIGURA 33 - ETIQUETA ENERGÉTICA DE LÂMPADAS ELÉTRICAS [70]. | 79 |
| FIGURA 34 – EXEMPLOS DE SENSORES DE MOVIMENTO.O | 80 |
| FIGURA 35 – EXEMPLOS DE INTERRUPTORES COM <i>DIMMER</i> . | 81 |
| FIGURA 36 – NÚMERO MÉDIO ANUAL DE HORAS DE SOL EM PORTUGAL. | 83 |
| FIGURA 37 - ESQUEMA BÁSICO DE UMA INSTALAÇÃO SOLAR TÉRMICA. | 84 |
| FIGURA 38 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CIRCULAÇÃO NATURAL OU TERMOSSIFÃO [74]. | 85 |
| FIGURA 39 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CIRCULAÇÃO FORÇADA [74]. | 85 |
| FIGURA 40 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA DE ARREFECIMENTO SOLAR [76]. | 86 |
| FIGURA 41 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. | 87 |
| FIGURA 42 – CÉLULAS DE SILÍCIO CRISTALINO: SILÍCIO POLICRISTALINO À ESQUERDA E MONOCRISTALINO À DIREITA. | 88 |
| FIGURA 43 – REPRESENTAÇÃO DOS DOIS TIPOS DE CONFIGURAÇÃO DAS TURBINAS EÓLICAS. | 90 |
| FIGURA 44 – PROCESSO DE CAPTAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA. | 91 |
| FIGURA 45 - ENERGIA DA BIOMASSA – ELETRICIDADE PRODUZIDA A PARTIR DE MATÉRIA ORGÂNICA. | 92 |
| FIGURA 46 - EXEMPLOS DE SISTEMAS MODULARES FECHADOS: LOFT CUBE (À ESQUERDA) E LA CAPANNA – SPACEBOX (À DIREITA). | 94 |
| FIGURA 47 – EXEMPLO DE UM SISTEMA DE CONSTRUÇÃO PARCIALMENTE ABERTO. | 95 |
| FIGURA 48 – EDIFÍCIO <i>VELUXLAB</i> , [85]. | 100 |
| FIGURA 49 – IMAGEM DO LOCAL ONDE SE VAI SITUAR O EDIFÍCIO. | 107 |
| FIGURA 50 – DETALHE CONSTRUTIVO DAS PAREDES EXTERIORES LSF, [88]. | 111 |
| FIGURA 51 - EXEMPLO DE UMA SECÇÃO C DE UM PERFIL DE CONSTRUÇÃO DE PAREDES LSF. | 111 |
| FIGURA 52 – DETALHE CONSTRUTIVO DE PAREDES INTERIORES LSF, [88]. | 113 |
| FIGURA 53 – DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA WALKROCK, [89]. | 114 |
| FIGURA 54 – DETALHE CONSTRUTIVO DA COBERTURA DECKROCK AJARDINADA, [89]. | 115 |
| FIGURA 55 - DETALHE CONSTRUTIVO DAS LAJES DE PAVIMENTO, [91]. | 116 |
| FIGURA 56 - DETALHE CONSTRUTIVO DAS LAJES DE PISO, [91]. | 116 |
| FIGURA 57 - ESQUEMA MONTAGEM DO TETO FALSO KNAUF D47, [92]. | 117 |
| FIGURA 58 – EXEMPLO E CARACTERÍSTICAS DA FACHADA DE CORTINA QUADRADA GEODE, [93]. | 118 |
| FIGURA 59 – EXEMPLO DE UM PERFIL DO SISTEMA DE ALUMÍNIO ECO SYSTEM®50, [94]. | 119 |
| FIGURA 60 – ELEMENTO DE LIGAÇÃO E FIXAÇÃO DA ESTRUTURA DE SUPORTE AO SOLO. | 119 |
| FIGURA 61 – FUNDAÇÕES - ESTRUTURA DE SUPORTE. | 120 |
| FIGURA 62 - RESUMO DO PROCESSO CONSTRUTIVO DO ZELAB, (ADAPTADO DE [96]). | 121 |
| FIGURA 63 – ESTRUTURA MÓDULO TIPO. | 122 |
| FIGURA 64 – ELEMENTOS DE LIGAÇÃO DOS MÓDULOS. | 122 |
| FIGURA 65 – CONFIGURAÇÃO FINAL DOS MÓDULOS. | 123 |
| FIGURA 66 – MODELO EXTERIOR DO EDIFÍCIO (VISTA ASCENDENTE). | 123 |
| FIGURA 67 - MODELO EXTERIOR DO EDIFÍCIO (VISTA DESCENDENTE). | 124 |
| FIGURA 68 – ALÇADO DA FACHADA PRINCIPAL (OESTE). | 124 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 69 – FACHADA PRINCIPAL (VISTA DE CORTE). | 125 |
| FIGURA 70 – ALÇADO DA FACHADA LATERAL (SUL). | 125 |
| FIGURA 71 – INTERIOR DO EDIFÍCIO - HALL DE ENTRADA. | 126 |
| FIGURA 72 – INTERIOR DO EDIFÍCIO - SALA DE REUNIÕES. | 126 |
| FIGURA 73 – PLANTA DE PISO 0. | 127 |
| FIGURA 74 – PLANTA DE PISO 1. | 127 |
| FIGURA 75 – PARÂMETROS TÉCNICOS DAS LÂMPADAS SELECIONADAS, [101]. | 136 |
| FIGURA 76 - PROGRAMA HAP. | 137 |
| FIGURA 77 - MENU “WEATHER” HAP – PARÂMETROS DE PROJETO. | 138 |
| FIGURA 78 – TEMPERATURAS CORRIGIDAS. | 139 |
| FIGURA 79 – MENUS HAP – CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE. | 140 |
| FIGURA 80 – MENU “SCHEDULES” HAP. | 141 |
| FIGURA 81 - SEPARADOR “HOURLY PROFILES” DO MENU “SCHEDULES”. | 141 |
| FIGURA 82 - SEPARADOR “ASSIGNMENTS” DO MENU “SCHEDULES”. | 142 |
| FIGURA 83 – MENU “SPACES” HAP. | 142 |
| FIGURA 84 – SEPARADOR “INTERNALS” DO MENU “SPACES”. | 143 |
| FIGURA 85 – SEPARADOR “WALLS, WINDOWS, DOORS” DO MEU “SPACES”. | 144 |
| FIGURA 86 - SEPARADOR “FLOORS” DO MEU “SPACES”. | 145 |
| FIGURA 87 - SEPARADOR “PARTITIONS” DO MEU “SPACES”. | 145 |
| FIGURA 88 – EXCERTO DA TABELA NUTS III, COM OS VALORES DE REFERÊNCIA E DECLIVES PARA AJUSTES EM ALTITUDE PARA A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO, NO GRANDE PORTO. | 165 |
| FIGURA 89 - EXCERTO DA TABELA NUTS III, COM OS VALORES DE REFERÊNCIA E DECLIVES PARA AJUSTES EM ALTITUDE PARA A ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO, NO GRANDE PORTO. | 166 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 1 – PRINCIPAIS ASPETOS A TOMAR EM CONSIDERAÇÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO DE UM NZEB (ADAPTADO DE [8]). | 37 |
| TABELA 2 – DEFINIÇÕES PARA OS NZEB (ADAPTADO DE [10][12][14]). | 39 |
| TABELA 3 – PRÓS E CONTRAS DAS VÁRIAS DEFINIÇÕES ASSOCIADAS A ZEB [14]. | 40 |
| TABELA 4 - PRINCIPAIS DIRETIVAS EUROPEIAS RELACIONADAS COM O SETOR DA ENERGIA E/OU EDIFÍCIOS (ADAPTADO DE [21]). | 44 |
| TABELA 5 - VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAIS DE REFERÊNCIA DE ELEMENTOS OPACOS VERTICAIS, EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO E DE COMÉRCIO E SERVIÇOS (ADAPTADO DE [49] E [50]). | 55 |
| TABELA 6 - VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAIS DE REFERÊNCIA DE ELEMENTOS OPACOS HORIZONTAIS, EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO E DE COMÉRCIO E SERVIÇOS, (ADAPTADO DE [49] E [50]). | 60 |
| TABELA 7 - VALORES DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAIS DE REFERÊNCIA DE VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES, EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO E DE COMÉRCIO E SERVIÇOS, (ADAPTADO DE [49] E [50]). | 64 |
| TABELA 8 - FATORES SOLARES MÁXIMOS ADMISSÍVEIS DE VÃOS ENVIDRAÇADOS, EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO E DE COMÉRCIO E SERVIÇOS, (ADAPTADO DE [49] E [50]) | 64 |
| TABELA 9 - TIPOS DE SISTEMAS AVANÇADOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL, (ADAPTADO DE [65]). | 68 |
| TABELA 10 – COMPARAÇÃO DA POTÊNCIA EQUIVALENTE DAS DIFERENTES LÂMPADAS EM FUNÇÃO DO BRILHO. | 79 |
| TABELA 11 – TEMPO DE VIDA ÚTIL DE DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS. | 80 |
| TABELA 12 – SOLUÇÕES DE APLICAÇÃO E FORNECIMENTO DE ENERGIA AOS EDIFÍCIOS NZEB (ADAPTADO DE [71]). | 82 |
| TABELA 13 – RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO SOLAR XXI (ADAPTADO DE [84]). | 96 |
| TABELA 14 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DO <i>RAKVERE SMART BUILDING</i> . (ADAPTADO DE [84]) | 99 |
| TABELA 15 – EXCERTO DA TABELA NUTS III, [44]. | 108 |
| TABELA 16 – CRITÉRIOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA DE INVERNO, [44]. | 108 |
| TABELA 17 - CRITÉRIOS PARA A DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA DE VERÃO, [44]. | 108 |
| TABELA 18 – CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SOLUÇÃO PAREDES LEVES DE EXTERIOR. | 112 |
| TABELA 19 - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SOLUÇÃO PAREDES INTERIORES. | 113 |
| TABELA 20 – PRESTAÇÕES TÉCNICAS DA COBERTURA DECKROCK AJARDINADA, [89]. | 115 |
| TABELA 21 - CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA SOLUÇÃO PAREDES LEVES. | 116 |
| TABELA 22 – CÁLCULO DA MÉDIA PONDERADA DO NÍVEL DE ATIVIDADE METABÓLICA PARA O <i>HALL</i> . | 132 |
| TABELA 23 – CÁLCULO DO CAUDAL DE AR NOVO FINAL DEVIDO AOS OCUPANTES DO ESPAÇO. | 133 |
| TABELA 24 - CÁLCULO DO CAUDAL DE AR NOVO FINAL DEVIDO AOS MATERIAIS DO EDIFÍCIO E A SUA UTILIZAÇÃO. | 133 |
| TABELA 25 - CÁLCULO DO CAUDAL MÍNIMO DE EXTRAÇÃO DOS WCS. | 134 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABELA 26 -RENOVAÇÕES POR HORA MÍNIMAS DE AR E CORRESPONDENTE CAUDAL NOS ESPAÇOS NÃO CLIMATIZADOS, [99]. | 134 |
| TABELA 27 – EXCERTO DA TABELA I.28 DA PORTARIA Nº17-A/2016, [50] | 135 |
| TABELA 28 – ÍNDICES DE ILUMINÂNCIA A GARANTIR SEGUNDO A CIE, (ADAPTADO DE [100]). | 135 |
| TABELA 29 – ILUMINAÇÃO INSTALADA POR ESPAÇO. | 136 |
| TABELA 30 - GANHOS INTERNOS DEVIDO AOS EQUIPAMENTOS. | 137 |
| TABELA 31 – CARGAS TÉRMICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO DOS ESPAÇOS. | 146 |
| TABELA 32 – DISTRIBUIÇÃO DA CARGA TÉRMICA DE ARREFECIMENTO POR ZONAS. | 147 |

ÍNDICE

| | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 27 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 27 |
| 1.2 | OBJETIVOS DO TRABALHO | 32 |
| 1.3 | ESTRUTURA..... | 32 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 37 |
| 2.1 | EVOLUÇÃO E DEFINIÇÃO DO CONCEITO ZEB..... | 38 |
| 2.2 | O CAMINHO PARA OS nZEB EM PORTUGAL E NA EUROPA | 42 |
| 2.2.1 | POLÍTICA EUROPEIA – EDIFÍCIOS E ENERGIA..... | 42 |
| 2.2.2 | LEGISLAÇÃO NACIONAL..... | 44 |
| 2.2.3 | CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS E SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL..... | 46 |
| 2.3 | DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO E CONCEPÇÃO DOS nZEB 47 | |
| 2.3.1 | INTEGRAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO E DESIGN DE CONCEPÇÃO..... | 48 |
| 2.4 | ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA O PROJETO DE EDIFÍCIOS nZEB | 49 |
| 2.4.1 | FORMA E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO | 50 |
| 2.4.2 | ORIENTAÇÃO E APROVEITAMENTO SOLAR PASSIVO | 51 |
| 2.4.3 | ENVOLVENTE | 53 |
| 2.4.3.1 | INÉRCIA TÉRMICA | 53 |
| 2.4.3.2 | ISOLAMENTO TÉRMICO | 54 |
| 2.4.3.3 | PAREDES EXTERIORES | 55 |
| 2.4.3.4 | COBERTURAS | 59 |
| 2.4.3.5 | PAVIMENTOS | 63 |
| 2.4.3.6 | VÃOS ENVIDRAÇADOS | 63 |
| 2.4.4 | SOLUÇÕES PASSIVAS | 67 |
| 2.4.4.1 | ILUMINAÇÃO NATURAL | 67 |
| 2.4.4.2 | SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO..... | 68 |
| 2.4.4.3 | SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO | 71 |
| 2.4.5 | SOLUÇÕES ATIVAS | 77 |
| 2.4.5.1 | EQUIPAMENTOS EFICIENTES | 77 |
| 2.4.5.2 | ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL | 78 |
| 2.4.5.3 | CAPTAÇÃO E FORNECIMENTO DE ENERGIA | 81 |

| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5 | CONSTRUÇÃO MODULAR..... | 93 |
| 2.5.1 | CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODULARES | 94 |
| 2.6 | PROJECTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE RELEVÂNCIA | 96 |
| 3 | APRESENTAÇÃO DO PROJETO..... | 105 |
| 3.1 | CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E FUNCIONAIS | 105 |
| 3.1.1 | CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS | 106 |
| 3.2 | LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO..... | 107 |
| 3.2.1 | ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EXTERIORES – ZONA CLIMÁTICA E ORIENTAÇÃO SOLAR..... | 107 |
| 3.3 | SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - ENVOLVENTE OPACA | 109 |
| 3.3.1 | PAREDES EXTERIORES..... | 110 |
| 3.3.2 | PAREDES INTERIORES | 113 |
| 3.3.3 | COBERTURAS | 114 |
| 3.3.4 | PAVIMENTOS..... | 115 |
| 3.3.5 | TETOS FALSOS | 117 |
| 3.3.6 | ENVIDRAÇADOS..... | 118 |
| 3.4 | FUNDAÇÕES – ESTRUTURA DE SUPORTE..... | 119 |
| 3.5 | ESTRUTURA PRINCIPAL | 120 |
| 3.5.1 | COMPONENTES DO SISTEMA | 121 |
| 3.5.2 | CONFIGURAÇÃO FINAL..... | 123 |
| 4 | SIMULAÇÃO DINÂMICA | 131 |
| 4.1 | CONDIÇÕES BÁSICAS DE CÁLCULO..... | 131 |
| 4.1.1 | CONDIÇÕES INTERIORES DE CONFORTO | 131 |
| 4.1.2 | CARACTERIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE AR NOVO..... | 131 |
| 4.1.3 | ILUMINAÇÃO, EQUIPAMENTOS E OCUPAÇÃO | 134 |
| 4.2 | INTRODUÇÃO AO HAP..... | 137 |
| 4.2.1 | CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA..... | 138 |
| 4.2.2 | CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE | 139 |
| 4.2.3 | CARACTERIZAÇÃO DOS PERFIS DE UTILIZAÇÃO..... | 140 |
| 4.2.4 | CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS | 142 |
| 4.3 | APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS..... | 146 |

| | | |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4 | SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO | 147 |
| 4.4.1 | CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS | 148 |
| 5 | CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS | 153 |
| 5.1 | CONCLUSÕES | 153 |
| 5.2 | PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS..... | 154 |
| 6 | BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO..... | 157 |
| 7 | ANEXOS | 165 |
| 7.1 | ANEXO I – CÁLCULOS DE DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA | 165 |
| 7.2 | ANEXO II – DIMENSÕES E PESOS MÁXIMOS DOS VEÍCULOS..... | 167 |
| 7.3 | ANEXO III – FICHA TÉCNICA DO TETO SUSPENSO KNAUF D47/17 | 170 |
| 7.4 | ANEXO IV – FICHA TÉCNICA GEODE ASPETO QUADRADO | 172 |
| 7.5 | ANEXO V – FICHA TÉCNICA DO SISTEMA Eco System®50 | 173 |
| 7.6 | ANEXO VI -RELATÓRIOS DAS CARGAS TÉRMICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO | 174 |

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.3 ESTRUTURA

1 INTRODUÇÃO

Os laboratórios são espaços onde são realizados trabalhos de natureza experimental. Numa Escola de Engenharia, dependendo da área científica ao qual estão destinados, estes espaços podem apresentar uma grande complexidade não só no que respeita à distribuição do espaço, como também no que respeita ao tipo e frequência de utilização. A evolução tecnológica é exponencial, crescendo ainda que os antigos espaços laboratoriais não foram planeados tomando em consideração os atuais padrões construtivos, nomeadamente ao nível da eficiência energética, nem a utilização intensiva decorrente do experimentalismo associado ao “saber fazer” e à massificação do ensino superior, e que constitui uma exigência formativa em Instituições de Ensino Superior que se pretendem posicionar como impulsionadoras de novas gerações de técnicos de excelência não só ao nível nacional, mas também internacional. Neste sentido, o projeto de espaços laboratoriais, como espaços vivos representativos da realidade exterior constitui um desafio multidisciplinar, em áreas que vão desde a arquitetura até à gestão de projetos, passando pelas diversas áreas da engenharia e mesmo pelas ciências comportamentais.

O presente capítulo destina-se ao enquadramento do tema, dando a conhecer os diversos assuntos envolvidos neste estudo. São também apontados os objetivos do trabalho assim como a forma como está estruturada a dissertação.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Num passado não muito longínquo, assistimos a uma realidade não muito satisfatória no que diz respeito à obtenção e utilização da energia. A herança deixada pelas revoluções industriais dos séculos passados, o crescimento económico, está associada ao consumo da energia.

Devido ao rápido crescimento do setor de serviços, e principalmente à atividade industrial e transportes, o aumento das exigências de conforto e melhoria de vida das populações, o consumo energético nos edifícios aumentou de forma significativa e começa agora a fazer-se sentir o impacto daí resultante. Como resultado, a queima de combustíveis fósseis em quantidades cada vez maiores teve um sério impacto no aumento das concentrações de gases de efeito de estufa (GEE); intensificou-se o efeito de estufa natural, contribuindo assim para o aquecimento global e consequentes alterações climáticas.

Diversas crises ambientais estão a motivar a maneira como planeamos, projetamos e contruímos os edifícios. A poluição do ar e da água resultante do uso de combustíveis fósseis, os acidentes em centrais nucleares e o efeito das mudanças climáticas, à primeira vista pequeno, mas potencialmente devastador, apontam para uma necessidade urgente em reduzir o consumo de energia.

Nos últimos anos, esta necessidade de mudança e a nossa ambição permitiu-nos alcançar um patamar de excelência naquela que é, no contexto atual, cada vez mais uma realidade: a construção de um futuro sustentável. Um futuro sustentável para a sociedade, para a economia e para o ambiente.

A forma como obtemos e utilizamos a energia é indispensável para conseguirmos superar as dificuldades atuais, sem comprometer o futuro. Existem na Natureza diversas fontes de energia, algumas delas de origem renovável, como o Sol, o Vento, a Água, o Calor da Terra e a Biomassa. Contudo o aproveitamento e gestão dos recursos energéticos existentes ainda não permite a independência energética do nosso país.

A Diretiva comunitária 2009/28/CE fixa um objetivo para incorporação de fontes de energia renovável (FER) no consumo final bruto de energia (CFBE) até 2020, objetivo esse que é de 31% para Portugal (Figura 1), e cujo contributo provém do setor de produção de eletricidade, no aquecimento e arrefecimento nos setores da indústria, de serviços e doméstico e ainda nos Transportes (10%) [1].

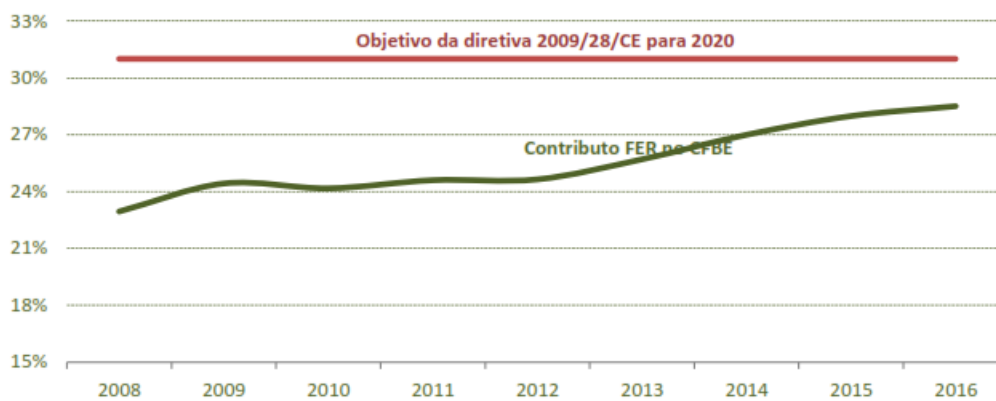


Figura 1 - Contributo das FER no CFBE em Portugal [1].

“Agora, assistimos a uma Europa que tenta recuperar o tempo perdido com fundos e programas de apoio à reabilitação, mas cujos resultados tardam em aparecer. A par disto, as redes inteligentes, a integração das renováveis, a utilização generalizada da eletricidade, nomeadamente do veículo elétrico, o uso das tecnologias de informação e comunicação ou a Internet das Coisas trazem novas exigências aos edifícios que, num futuro não muito longínquo, se vão querer flexíveis e inteligentes”[2].

Para cumprir as obrigações que se propõe, por força do Protocolo de Quioto e do Acordo de Paris, a UE implementou vários objetivos com o propósito de atenuar as alterações climáticas. Estes objetivos envolvem reduções diretas e quantificadas das emissões de gases com efeito de estufa, bem como metas específicas em matéria de produção de energia renovável e aumento da eficiência energética. A meta dos 20-20-20 – uma quota de 20% de energias renováveis, 20% de eficiência energética e uma redução de 20% na emissão de gases com efeitos de estufa para o ano de 2020 – tem orientado os países europeus na definição de políticas que permitam prosseguir esse caminho.

Assim, surgiram requisitos construtivos específicos para dar resposta às exigências ao nível da eficiência e da redução dos consumos energéticos a eles associados, originando

os denominados *Nearly Zero Energy Buildings* (nZEB), que são edifícios com necessidades energéticas quase nulas. “Quando se começou a falar de nZEB, estes pareciam utópicos, muito se discutia sobre o que eram e o quão difícil iria ser para os Estados-Membros fazer deste conceito vago uma realidade. O mercado estava obcecado com a nova construção e com os desafios de começar um projeto de raiz, o que acabou por se refletir nos regulamentos, que dedicaram pouco espaço à eficiência energética no parque já edificado. Passada a euforia, um olhar atento deixou ver que o desafio é, na verdade, bem maior e não está naquilo que se vai construir, mas no que já existe. Devido à expansão do sector da construção que se tem vindo a observar na União Europeia (UE), é espectável que haja um aumento do consumo de energia, sendo que os edifícios representem cerca de 40% desse mesmo consumo (Figura 2) e por isso o sector da construção se tornou num importante alvo de intervenção”[2].

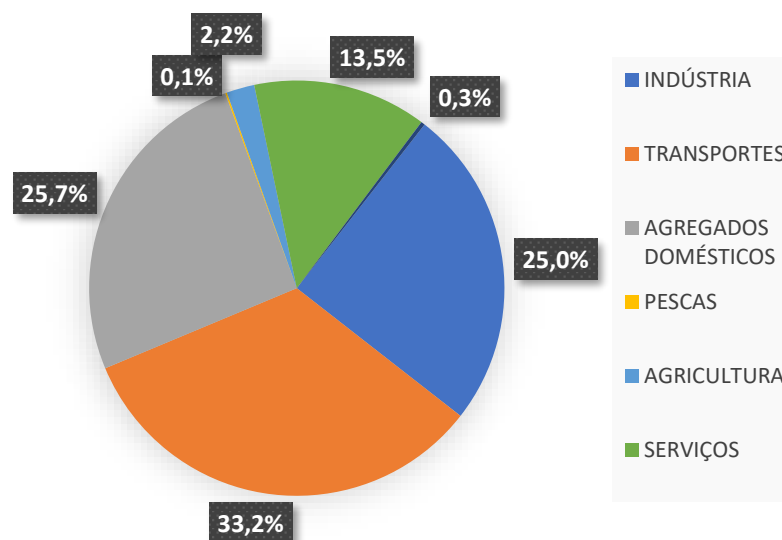


Figura 2 – Distribuição do consumo total de energia final por setor na UE28, dados de 2016 [3].

No caso particular do setor dos Serviços existe uma distribuição de consumos variável, característica da diversidade das atividades e tipologia dos edifícios. Ainda assim, é possível estimar aquela que é, de uma forma geral, a distribuição dos consumos de energia final neste setor (Figura 3).

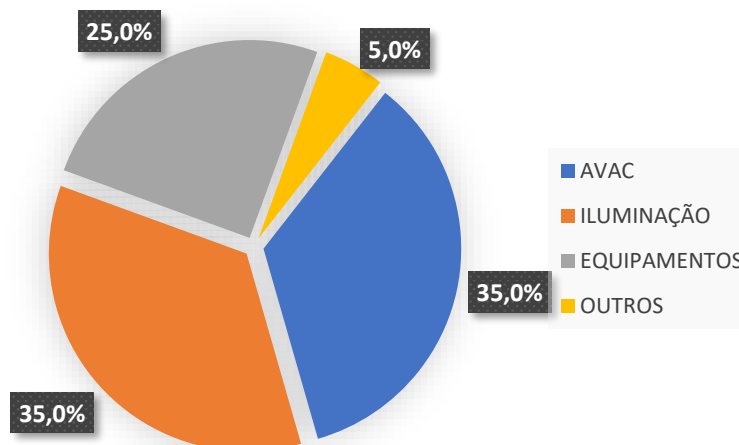


Figura 3 - Distribuição do consumo total de energia no setor dos Serviços em Portugal (Adaptado de [4]).

“O imenso potencial dos edifícios na redução do consumo energético tem sido por várias vezes defendido pela Comissão e, como tal, uma das metas definidas pela União Europeia é de que, até 2020, todos os edifícios novos deverão ser altamente eficientes e possuir um balanço energético próximo do zero. Esta diretiva define que todos os novos edifícios públicos deverão ser nZEB até 2018. O conceito já existe, mas vai passar a ser obrigatório. Acontece que cada Estado-Membro tem a liberdade de o definir e encontrar as metodologias para lá chegar. Fica em aberto o peso que as renováveis poderão ter neste balanço”[5].

“Um edifício de energia zero, também conhecido como um nZEB, é um edifício com consumo zero de energia líquida, ou seja, a quantidade total de energia consumida pelo edifício numa base anual é aproximadamente igual à quantidade de energias renováveis geradas pelo mesmo edifício. Estes edifícios, conseqüentemente, possuem um impacto nulo relativamente à emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera”[5].

Os edifícios com necessidade energética quase nula definem-se como edifícios de elevado desempenho e eficiência energética. A eficiência energética procura melhorar o uso das fontes de energia, consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. A utilização das energias renováveis como fonte de energia para consumo das necessidades energéticas, quer de climatização quer de aquecimento de águas quentes sanitárias é uma das formas mais eficientes de reduzir o consumo de energia de combustíveis fósseis. Ainda assim, deve-se considerar que mesmo em fontes limpas, a sua eficiência está associada à taxa de consumo e não à fonte geradora. Acompanhando esta tendência de aumento da eficiência energética, verifica-se que, cada vez mais, o setor da construção tem a consciência de que é necessário adaptar e alterar a forma como os edifícios são percecionados, colmatando os problemas comuns existentes na maioria dos edifícios convencionais.

De um modo geral, para se conseguir atingir as premissas desta opção construtiva e atingir um nível ótimo de eficiência, deve-se apostar em sistemas competentes, com equipamentos e iluminação eficientes. Deve-se pensar em tecnologia que garanta a

otimização, quer térmica, quer dos ganhos solares. E deve-se ter um pensamento estratégico (Figura 4) com sistemas passivos e com o aproveitamento de fatores naturais como a iluminação e a ventilação [6].

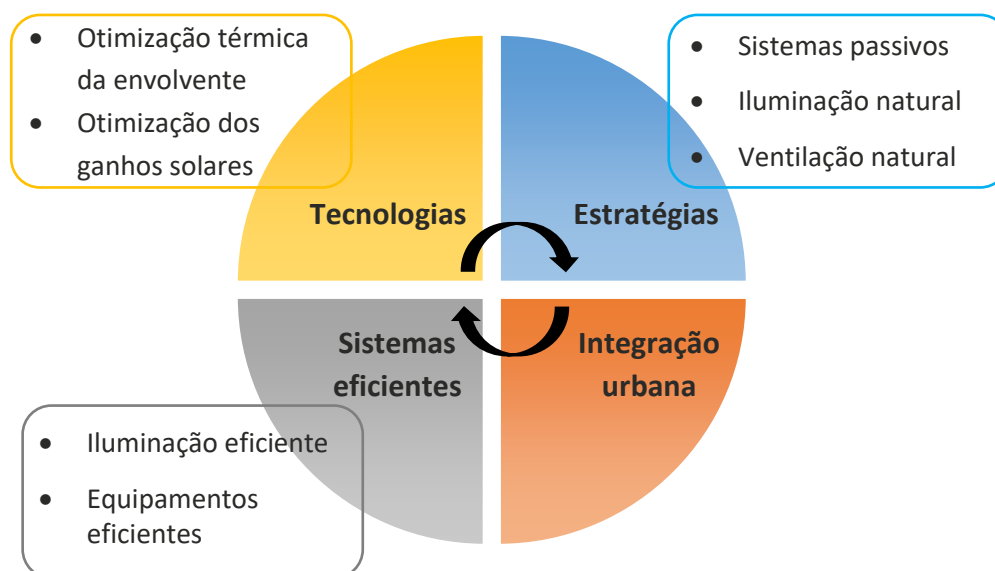


Figura 4 – Pensamento estratégico para melhorar o nível de eficiência dos edifícios (Adaptado de [6]).

O conceito da construção sustentável promove o equilíbrio de valores de natureza ambiental, social e económica envolvendo a consideração de todo o ciclo de vida dos edifícios. O desenvolvimento de melhores e mais otimizadas soluções construtivas, que melhorem os resultados gerais em todos os momentos do seu ciclo de vida, são um propósito que todas as construções terão que inevitavelmente atingir num futuro próximo.

Ao estabelecer uma ligação entre sustentabilidade construtiva e a construção modular podemos ter inúmeras possibilidades arquitetónicas, a padronização de processos facilita a rapidez na montagem, contribuindo assim para a redução dos desperdícios e a poupança na mão-de-obra. Pretende-se demonstrar que é possível construir utilizando sistemas simples modulares e funcionais, incorporando materiais, técnicas e equipamentos eficientes, reduzindo assim não só os custos de execução, mas também os custos de utilização e manutenção.

É fundamental ter bem presente todos estes conceitos na forma como pensamos os novos edifícios. Os estragos já causados pelo crescimento despreocupado estão bem visíveis, tornando-se urgente mudar mentalidades, é dever dos arquitetos, engenheiros e até mesmo dos próprios utilizadores, repensar as suas opções e decisões, precavendo o impacto que estas irão ter, direta ou indiretamente, a curto ou longo prazo.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo fundamental da presente dissertação consiste num contributo para o projeto de um módulo de um edifício laboratorial energeticamente eficiente e com preocupações ao nível da sustentabilidade dos materiais, aplicando os princípios da engenharia mecânica. Este módulo constituirá a unidade de ligação entre as restantes componentes laboratoriais, destinando-se nomeadamente a espaço de armazenamento de reagentes, colocação de equipamentos de uso comum, sala de reuniões, etc., estando preparado para a realização de estudos por parte de alunos ao nível do Mestrado.

De facto, assistimos a uma elevada procura, por parte de departamentos governamentais, de laboratórios modulares para dar uma rápida resposta a diversas situações, como por exemplo em cenários de desastres naturais, surtos de doenças ou ataques terroristas. As unidades modulares oferecem um conjunto de vantagens, desde a facilidade e rapidez de construção à sua flexibilidade ou modularidade que evitam custos de renovação para as adaptar às mudanças desejadas, tornando-os mais ergonômicos e amigáveis para o operador quando comparados com os laboratórios tradicionais. Estas características não passaram despercebidas, e este tipo de laboratório tem despertado interesse dos laboratórios corporativos e universitários, que confrontados com os avanços na ciência e tecnologia têm a necessidade que o espaço de laboratório seja flexível o suficiente para se adaptar às mudanças necessárias [7].

Este projeto conjuga duas vertentes distintas entre si. Por um lado, a investigação académica inerente a este tipo de projetos, uma vez que o conceito de NZEB é cada vez mais uma tendência no que toca ao cumprimento dos objetivos de eficiência energética propostos pela União Europeia para o ano 2020. Noutra perspetiva, a análise térmica e energética do edifício, ou seja, a simulação dinâmica, que permite obter as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, resultantes da aplicação de tecnologias e materiais que permitam que o edifício seja energeticamente eficiente.

Em suma, esta dissertação pretende abordar de uma forma consciente as várias especialidades intrínsecas a este tipo de construção, de forma eficiente para que seja atingido o objetivo NZEB. Desde a fase de elaboração do projeto, através da utilização de módulos padrão, à incorporação de materiais e técnicas construtivas, tendo sempre em vista que seja realizável e economicamente viável.

1.3 ESTRUTURA

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, seguindo-se bibliografia e anexos. A ordem dos capítulos, visa seguir uma linha de raciocínio lógico que permite compreender melhor o trabalho e apresentar uma metodologia que permita cumprir os objetivos propostos.

Assim, o estudo iniciou-se no capítulo 1, com uma pequena introdução ao tema e uma contextualização do mesmo, dentro daquilo que é a nova forma de pensar os edifícios. São ainda apresentados os principais objectivos desta dissertação e a organização da mesma.

O capítulo 2, intitulado “Revisão Bibliográfica”, é dedicado à pesquisa bibliográfica e ao estudo de diversos conceitos, visando mostrar o caminho que deve ser seguido na conceção das construções NZEB. São também tratados conceitos relevantes para este trabalho, tais como, o tema da construção modular.

No capítulo 3, é desenvolvido o trabalho que começa pela caracterização geral do projeto. São também escolhidas as soluções construtivas para a envolvente opaca e apresentada a estrutura e modelo do edifício.

O capítulo 4, é dedicado à simulação dinâmica. São apresentadas as condições básicas para o cálculo e explicado o processo de preenchimento dos valores no software HAP, para as soluções descritas no capítulo 3.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões e apontadas possíveis soluções de melhoria para desenvolvimento de trabalhos futuros.

Na Bibliografia, constam as referências bibliográficas consultadas durante a realização da presente dissertação. Para terminar existem os Anexos, que contém elementos que servem de suporte aos capítulos 3 e 4.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EVOLUÇÃO E DEFINIÇÃO DO CONCEITO ZEB

2.2 O CAMINHO PARA OS nZEB EM PORTUGAL E NA EUROPA

2.2.1 POLÍTICA EUROPEIA – EDIFÍCIOS E ENERGIA

2.2.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL

2.2.3 CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS E SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

2.3 DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO E CONCEPÇÃO DOS nZEB

2.3.1 INTEGRAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO E DESIGN DE CONCEPÇÃO

2.4 ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA O PROJETO DE EDIFÍCIOS nZEB

2.4.1 FORMA E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

2.4.2 ORIENTAÇÃO E APROVEITAMENTO SOLAR PASSIVO

2.4.3 ENVOLVENTE

2.4.4 SOLUÇÕES PASSIVAS

2.4.5 SOLUÇÕES ATIVAS

2.5 CONSTRUÇÃO MODULAR

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODULARES

2.6 PROJECTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE RELEVÂNCIA

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A apresentação dos principais conceitos é fundamental para a compreensão do tema em estudo. Serve então o seguinte capítulo para dar a conhecer os principais conceitos teóricos relevantes para a elaboração da dissertação, bem como os vários tipos de soluções disponíveis para a construção deste tipo de edifícios e alguns dos projetos já existentes.

Como referido anteriormente, a conceção e planeamento dos nZEB é uma tarefa complexa e um desafio de crescente importância. Projetar e construir um nZEB constitui um novo desafio, e vai mudar o caminho da construção e a forma como são projetados e construídos os edifícios.

Na Tabela 1, são apresentados os principais aspetos a ter em consideração no início e durante o projeto de construção de um nZEB [8].

Tabela 1 – Principais aspetos a tomar em consideração durante a construção de um nZEB (Adaptado de [8]).

| | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Definição | Existem várias definições para um NZEB que são baseadas em balanços energéticos, equilíbrio ambiental ou económico. |
| Nível de Conforto e Clima | A definição de um NZEB é muito sensível ao clima. Consequentemente, o projeto de um NZEB depende do nível de conforto térmico pretendido. |
| Estratégias Passivas | As estratégias passivas são fundamentais no projeto de um NZEB. Incluem iluminação e ventilação natural, inércia térmica e sombreamentos. |
| Eficiência Energética | Por norma, um NZEB deve ser um edifício muito eficiente. Isso implica estar em conformidade com normas e padrões de eficiência energética, considerando o desempenho do edifício, taxas de infiltração baixas, redução da iluminação artificial, entre outros. |
| Fontes de Energias Renováveis | As FER são parte integrante de um NZEB para atingir o seu objetivo de desempenho energético, pois permitem a produção de energia para autoconsumo. É um tema que precisa de ser abordado desde o início, aquando do projeto e da construção. A área dos painéis solares, a posição de montagem, o espaçamento entre linhas e a inclinação são muito importantes. A utilização de caldeiras a biomassa constitui uma alternativa a considerar. |
| Soluções Inovadoras e Tecnologia | Attingir o objetivo final de um NZEB, é extremamente exigente e requerer o uso das novas tecnologias na implementação soluções inovadoras, dos quais são exemplo os sistemas de armazenamento de energia. |

2.1 EVOLUÇÃO E DEFINIÇÃO DO CONCEITO ZEB

Os edifícios representam uma fatia muito considerável do consumo de energia total na UE. Com a expansão contínua do setor da construção, prevê-se um acréscimo do consumo energético. Em função desta realidade, existe uma necessidade urgente na redução do consumo e num aumento da utilização de energia proveniente de fontes renováveis. O período de renovação dos edifícios existentes é um processo demorado, portanto, é necessário que os edifícios existentes sujeitos a grandes obras de requalificação e, principalmente os edifícios novos, sejam projetados de forma a que estejam dotados de técnicas e estratégias eficientes e sustentáveis tanto ao nível da produção da própria energia, como na sua utilização racional [9].

No setor da construção, o termo “*net energy*” tem como finalidade descrever o equilíbrio entre a energia utilizada pelo edifício, pelos ocupantes e pelos sistemas e a energia produzida pelas suas fontes renováveis e outros sistemas de energia (Figura 3). Em edifícios com um balanço “*net energy*” em uso (a energia fornecida à rede é igual à energia utilizada), a energia gasta durante o seu ciclo de vida é a estritamente necessária para a manutenção do edifício e dos seus componentes. Nesta fase é importante a diferenciação entre o conceito “*zero energy building*” e “*net-zero energy building*”. O termo “*zero energy*” traduz-se especialmente no uso da energia para o funcionamento de um edifício (aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação, etc.), e o termo “*net-zero energy*” serve para descrever o balanço energético de um edifício ligado à rede [10].

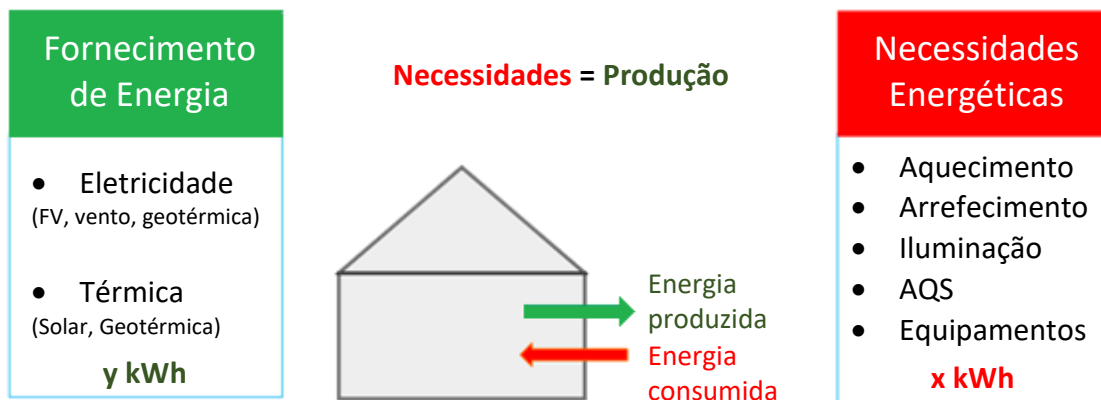


Figura 5 - Necessidades de produção vs. energia produzida (Adaptado de [11]).

Os primeiros registos documentados como tentativa de atingir os ZEB, datam de 1939, nos EUA. O primeiro exemplo foi a implementação de uma estrutura tipo casa, no campus do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), a Solar House I, a primeira a ser aquecida pela energia do sol, que contava com uma vasta área de captação solar térmica e armazenamento de água [10].

É arriscado apontar um edifício como sendo o primeiro ZEB, em razão de não se firmar como um novo conceito de edifício, sendo apenas uma designação moderna para um edifício. No final da década de setenta e início dos anos oitenta do século XX,

consequência da visibilidade da crise do petróleo e uso e discussão sobre a finitude das fontes de combustíveis fósseis e uso intensivo da energia, nos EUA começaram a surgir publicações relacionadas com tecnologias eficientes e soluções passivas nos edifícios, fazendo referência a excertos como “*a zero energy house*”, “*a neutral energy autonomous house*” ou “*an energy-independent House*” [12].

Nessa altura, a generalidade dos edifícios ZEB eram na verdade edifícios com necessidades térmicas zero (*zero thermal buildings*), devido ao facto de a maior fração do uso da energia estar associada a condições térmicas (aquecimento e arrefecimento do espaço e/ou águas quentes sanitárias (AQS)). A título de exemplo, temos a *Zero Energy House* na Dinamarca, projetada para ser auto-suficiente no aquecimento de espaços e abastecimento de água quente em condições climáticas normais [13].

Finalmente, ao longo das últimas décadas, e depois de muitos documentos publicados, existe uma grande diversidade de definições para os ZEB. Portanto, tendo em conta a falta de uma definição comum, surge a necessidade de analisar com mais rigor as definições, dividindo-as em vários grupos, com o propósito de destacar os temas mais importantes para a discussão antes de apresentar uma definição sólida para um ZEB.

Uma questão tem de ser levantada em relação ao real significado do zero na definição de ZEB. Este diz respeito à energia primária, energia final, emissões de CO₂ ou custos? O Departamento de Energia dos EUA (DOE) atribui a seguinte definição geral:

“Um nZEB é um edifício residencial ou comercial com necessidades de energia reduzidas através de ganhos eficientes, de modo que essas necessidades energéticas podem ser produzidas através de energias renováveis” [12],[14].

Existem várias formas de abordar o tema ZEB na forma como este é construído, tais como objectivos do projeto, intenções dos investidores, preocupação com as alterações climáticas e emissão de GEE ou, mesmo, custos da energia. Contemplando todos estes cenários, podemos identificar e caracterizar as quatro definições mais utilizadas para ZEB, as quais estão sintetizadas na Tabela 2 [14].

Tabela 2 – Definições para os NZEB (Adaptado de [10][12][14]).

| DESIGNAÇÃO | DEFINIÇÃO |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>NET ZERO SITE ENERGY</i> | A quantidade da energia transformada é igual à quantidade de energia utilizada num ano (contabilizada no local). |
| <i>NET ZERO SOURCE ENERGY</i> | A quantidade da energia transformada é pelo menos igual à energia utilizada num ano, quando contabilizada na fonte. “Source Energy” refere-se à energia primária utilizada na fonte para gerar e fornecer energia ao local. Para calcular a energia da fonte no local, a energia quer importada quer exportada deve se multiplicada por fatores de conversão. |
| <i>NET ZERO ENERGY COST</i> | A quantidade de energia produzida exportada deve ser suficiente para compensar os custos associados aos serviços de energia necessária para a utilização no edifício ao longo de um ano. |
| <i>NET ZERO ENERGY EMISSIONS</i> | Produz energia de fontes renováveis em quantidade suficiente, para equilibrar a energia utilizada a partir de fontes de energia não renováveis. |

Como podemos ter bem presente a definição de “zero energy” tem um papel preponderante na forma como os edifícios são projetados, sendo que todas estas possíveis definições acarretam vantagens e desvantagens.

Na Tabela 3 destacam-se as principais características de cada definição, apresentando os prós e contras das mesmas.

Tabela 3 – Prós e Contras das várias definições associadas a ZEB [14].

| DEFINIÇÃO | PRÓS | CONTRAS | OUTRAS IMPLICAÇÕES |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>SITE ZEB</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar; • Verificável através de medições no local; • Abordagem conservativa para alcançar ZEB; • Falta de fatores cujos benefícios não são refletidos e afetam o desempenho. • Podem ter sucesso ao longo do tempo. • Fácil de entender e comunicar entre a comunidade do edifício; • Incentiva ao desenho de edifícios energeticamente eficientes | <ul style="list-style-type: none"> • Requer mais exportação de energia dos painéis fotovoltaicos para compensar utilização do gás natural; • Não considera todos os custos de utilização; • Não é capaz de igualar a capacidade de geração dos diferentes tipos de combustíveis; • Não conta para as diferenças não energéticas entre os diversos tipos de combustível (disponibilidade de fornecimento, poluição). | |
| <i>SOURCE ZEB</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Capaz de igualar o valor energético dos tipos de combustíveis usados no local; • Melhor modelo para impacto do sistema energético nacional; ZEB mais fácil de atingir. | <ul style="list-style-type: none"> • Não conta para as diferenças não energéticas entre os diversos tipos de combustível (disponibilidade de fornecimento, poluição); • Cálculo das fontes muito amplas (não tem em conta as variações regionais ou diárias na geração elétrica); • Contabilidade do uso da fonte energética e mudança de combustíveis, pode ter um impacto maior que as tecnologias de eficiência energética; • Não considera todos os custos energéticos. | <ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de desenvolvimento de fatores de conversão do local para a fonte, os quais requerem quantidades significativas de informação para serem definidos. |

| DEFINIÇÃO | PRÓS | CONTRAS | OUTRAS IMPLICAÇÕES |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>COST ZEB</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Fácil de implementar e de medir; • Forças de mercado resultam num bom balanço entre os tipos de combustível; • Permite o controlo da procura / resposta; • Descontos para efeitos de impostos. | <ul style="list-style-type: none"> • Pode não refletir impacto na procura da rede nacional. • Pode ser mais favorável reduzir a procura com armazenamento no local do excesso energético, que exportar para a rede; • Requer acordos de medição de forma a que a eletricidade exportada possa compensar os encargos não energéticos; • Elevadas tarifas energéticas dificultam o acompanhamento ao longo do tempo. | <ul style="list-style-type: none"> • Compensar o serviço mensal e encargos de infraestrutura requer ir além do ZEB; • O sistema de medição não está bem estabelecido, frequentemente tem limites de capacidade e com uma taxa inferior às taxas dos fornecedores. |
| <i>EMISSIONS ZEB</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Melhor modelo para o “poder verde”; • Contas para diferenças não energéticas entre os tipos de combustíveis (poluição, GEE); • O ZEB mais fácil de atingir. | | <ul style="list-style-type: none"> • Precisa de fatores de emissão apropriados. |

Tipicamente, o conceito ZEB surge associado a um edifício com necessidades de energia muito reduzidas, com elevados padrões de eficiência, de forma que as tecnologias renováveis possam satisfazer as necessidades energéticas. No entanto, alcançar a independência energética torna-se complicado, devido às limitações existentes na geração de energia no local e armazenamento. Desta forma, faz sentido usar a rede elétrica para explicar o balanço energético, quando a produção de energia no local satisfaz as necessidades, o excesso é exportado para a rede elétrica, permitindo numa futura situação de maior necessidade, compensar o uso de energia [14].

O desempenho dos edifícios nZEB depende essencialmente de dois pressupostos fundamentais, a redução das necessidades energéticas do edifício e a produção de energia elétrica ou outros tipos de energia a partir de fontes de energia renováveis, de forma a alcançar o balanço energético desejado.

2.2 O CAMINHO PARA OS nZEB EM PORTUGAL E NA EUROPA

Relembrando o que já foi dito no presente documento, o setor dos edifícios representa uma fatia considerável dos consumos de energia final na EU (cerca de 40%). Deste modo, existe uma grande margem de progressão neste setor, no que diz respeito à dependência energética dos edifícios, que se pode refletir numa diminuição das emissões de GEE responsáveis pelos fenómenos das alterações climáticas e aquecimento global. Nesta perspetiva, temos assistido nas últimas décadas à adoção de políticas, por parte da EU, que visam melhorar a eficiência energética do parque edificado.

2.2.1 POLÍTICA EUROPEIA – EDIFÍCIOS E ENERGIA

A “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano”, também conhecida como “Conferência de Estocolmo”, realizada em 1972, foi a primeira grande reunião de chefes de estado, organizada pelas Nações Unidas (ONU), para tratar das questões relacionadas com a degradação do meio ambiente, inaugurando a busca pelo equilíbrio entre desenvolvimento económico e redução da degradação ambiental, que mais tarde evoluiria para a noção de desenvolvimento sustentável.

Em 1992, vinte anos após a realização da Conferência de Estocolmo, ocorreu outro grande evento de debate ambiental, foi a “Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento”, também conhecido como ECO-92 ou Rio-92, onde foi feito um balanço tanto dos problemas existentes quanto dos progressos realizados, e foram elaborados documentos importantes que continuam a ser referência para as discussões ambientais.

Acompanhando estas mudanças políticas e comportamentais, surge no ano de 1993 a primeira Diretiva Europeia relativa à limitação das emissões de CO₂ através do aumento da eficiência energética dos edifícios, a Diretiva 93/76/CEE. A referida Diretiva visa a realização dos objectivos com base nos pressupostos seguintes [15]:

- certificação energética dos edifícios;
- faturação das despesas de aquecimento, ar condicionado e água quente sanitária com base no consumo real;
- financiamento por terceiros dos investimentos em eficácia energética no sector público;
- isolamento térmico dos edifícios novos;
- inspeção periódica das caldeiras;
- auditorias energéticas nas empresas com elevado consumo de energia.

Mais tarde, com a assinatura do Protocolo de Quioto, a União Europeia e os estados membros foram obrigados a definir metas para a utilização racional dos recursos energéticos. Surge então, em dezembro de 2002, a Diretiva 2002/91/CE, com o objetivo de melhoria do desempenho energético dos edifícios da Comunidade Europeia,

considerando as condições climáticas externas e as locais, mas também as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica. Esta diretiva estabelece que os EM devam implementar os seguintes requisitos [16]:

- adotar uma metodologia comum de cálculo do desempenho energético de edifícios;
- aplicar requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios;
- aplicar requisitos mínimos para o desempenho energético de grandes edifícios existentes, sujeitos a obras de renovação;
- inspeção regular das instalações de aquecimento e de ar condicionado nos edifícios e avaliação das instalações de aquecimento com mais de 15 anos.

A 23 de abril de 2009, surge uma nova diretiva relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, a Diretiva 2009/28/CE, que altera e subsequentemente revoga as Diretivas 2001/77/CE e 2003/30/CE. Esta nova Diretiva estabelece a definição de energia proveniente de fontes renováveis, nomeadamente eólica, solar, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hidráulica, de biomassa, de gases dos aterros, de gases das instalações de tratamento de águas residuais e biogases. A diretiva determina um quadro comum aos Estados Membro (EM) para a promoção de energia proveniente das fontes renováveis, fixando objetivos nacionais obrigatórios para a quota global de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia e para a quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida pelos transportes [17].

Em outubro do mesmo ano, é aprovada a Diretiva 2009/125/CE, relativa à criação de um quadro para definir os requisitos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo de energia, não aplicável a meios de transporte de pessoas ou mercadorias [18].

A 19 de maio de 2010 foi aprovada uma alteração à Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta nova reformulação deu origem à atual diretiva em vigor, Diretiva 2010/31/UE (EPBD), que vem confirmar e realçar a importância de uma implementação de medidas de eficiência energética nos edifícios bem como o compromisso, a longo prazo, quer por parte dos EM quer da própria Comissão Europeia em apoiar esta implementação. É nesta Diretiva Europeia que surge o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (NZEB), que é definido como sendo um edifício com um desempenho energético muito elevado, onde as necessidades de energia muito pequenas ou quase nulas, deverão ser satisfeitas maioritariamente por energia proveniente de fontes renováveis, incluindo energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou nas proximidades [19].

Relativamente à eficiência energética, surge a 25 de outubro de 2012, a Diretiva 2012/27/EU, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. A presente diretiva tem como objetivo estabelecer um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética na União, a fim de assegurar a realização do grande objetivo da União que consiste em atingir 20 % em matéria de

eficiência energética até 2020, e de preparar caminho para novas melhorias nesse domínio para além dessa data [20].

De forma resumida, apresentam-se na Tabela 4 as principais Diretivas Europeias relacionadas com o setor da energia e/ou edifícios.

Tabela 4 - Principais Diretivas Europeias relacionadas com o setor da energia e/ou edifícios (Adaptado de [21]).

| DIRETIVA EUROPEIA | |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Diretiva 2009/28/CE | relativa à promoção da utilização de energia proveniente de Fontes renováveis |
| Diretiva 2009/125/CE | relativa aos Requisitos de conceção ecológica dos produtos |
| Diretiva 2010/30/UE | relativa à Rotulagem energética e outras indicações uniformes dos produtos |
| Diretiva 2010/31/UE | relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios |
| Diretiva 2012/27/EU | relativa à Eficiência energética |

2.2.2 LEGISLAÇÃO NACIONAL

Portugal tem vindo a trilhar desde cedo um caminho nas políticas de eficiência energética nos edifícios, manifestando preocupação na redução das necessidades energéticas e em consumir cada vez mais energia proveniente de fontes renováveis. Portugal aprovou em 1990, anos antes da publicação da Diretiva 93/76/CEE do Conselho, de 13 de Setembro de 1993, relativa à limitação das emissões de dióxido de carbono através do aumento da eficácia energética (Save) de 1993, o Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro de 1990 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [22].

A aprovação do RCCTE, que teve por objeto principal a melhoria da qualidade térmica da envolvente, mediante intervenção na conceção, no projeto e na construção dos edifícios, constituiu um passo significativo no sentido da melhoria das condições de conforto térmico na generalidade dos edifícios. Faltava, no entanto, regulamentar as condições em que se definem as dimensões e se devem processar a instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou de arrefecimento, por forma a assegurar a qualidade das respetivas prestações, com respeito pela utilização racional da energia, pelo ambiente e pela segurança das instalações, o que veio a acontecer com a aprovação do Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios pelo Decreto-Lei n.º 156/92, de 29 de Julho. Este Regulamento, no entanto, carecia de revisão, no sentido de serem introduzidas algumas correções e, a 7 de maio de 1998 foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/98, o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), com o objetivo de estabelecer regras no dimensionamento e instalação de sistemas energéticos de climatização em edifícios [23].

Com a publicação da Diretiva Europeia 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002, relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios [16], Portugal viu-se na obrigação de fazer uma grande mudança no que diz respeito à legislação nacional.

Assim, a transposição da Diretiva 2002/91/CE para a legislação nacional foi efetuada com a publicação de três Decretos-Lei:

- Decreto-Lei 78/2006 de 4 de Abril, no qual foi aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios (SCE) [24];
- Decreto-Lei 79/2006 de 4 de Abril, no qual foi aprovado o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios (RSECE)[25];
- Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril, no qual foi aprovado o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), [26];

Com a necessidade de transpor a Diretiva 2010/31/UE [19], surgiu a aprovação do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto que veio revogar o SCE, RCCTE e o RSECE e, reúne num só diploma o Sistema de Certificação Energética, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [27].

Desde 1990 até 2013, tem existido uma evolução notória da legislação nacional, no que diz respeito aos edifícios, como podemos ver de forma resumida na Figura 6.



Figura 6 – Evolução legislativa nacional relacionada com energia (e conforto) nos edifícios [28].

Por fim, foi aprovado recentemente o Decreto-Lei n.º 28/2016 de 23 de Junho, que procedeu à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado pelos Decretos-Leis n. os 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de setembro, e 251/2015, de 25 de novembro, que aprovou o Sistema de Certificação de Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, e

transpôs para a ordem jurídica nacional 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, completando a transposição desta Diretiva [29].

2.2.3 CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS E SISTEMAS DE AVALIAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

A atribuição de certificação energética aos edifícios europeus é o primeiro passo importante para ganhar uma visão sobre o desempenho energético dos edifícios existentes e melhorar o desempenho dos edifícios novos.

A implementação do Sistema de Certificação Energética (SCE), surgiu com a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios, que estabelece que os Estados membros da União Europeia devem implementar um SCE de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público.

Em Portugal, com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, foi aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios, sendo a sua gestão da responsabilidade da ADENE (Agência para a Energia) e a fiscalização feita pela DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia).

A emissão de um certificado ou pré-certificado energético pressupõe a atribuição de uma classe energética que varia de A+ (muito eficiente) a F (pouco eficiente). Existindo diferenciação entre o regulamento para edifícios de habitação e para edifícios de comércio e serviços, é de notar que a fórmula de cálculo para a obtenção da classe energética também se altera. Contudo, existe um elo comum entre as duas expressões de cálculo: a classe energética do edifício é sempre obtida em relação a um edifício de referência com características definidas na legislação nacional e tendo em conta o comportamento térmico do edifício e os equipamentos instalados (equipamentos de produção de energia térmica (REH); equipamentos de produção de energia térmica e grandes consumidores como elevadores, escadas rolantes (RECS). O quociente obtido em ambas as expressões, traduz a quantidade de energia consumida pelo edifício existente ou em fase de projeto em relação ao edifício de referência: assim, um edifício em fase de projeto, novo, ou sujeito a grande remodelação no máximo pode obter classificação energética B-, que significa que a energia consumida pelo edifício é igual ao edifício de referência.

A implementação de sistemas e ferramentas de avaliação e certificação da construção sustentável veio possibilitar a redução dos impactes negativos que o sector da construção origina, durante a totalidade do seu ciclo de vida, promovendo e tornando possível uma melhor integração entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais, económicos e outros critérios convencionais.

Em Portugal a certificação energética dos edifícios é obrigatória, contudo a certificação ambiental de edifícios, empreendimentos ou urbanizações é ainda de carácter opcional. Existem atualmente diversos sistemas de certificação ambiental do edificado que, de um modo geral, utilizam muitos parâmetros comuns, mas que divergem em certos critérios, também fruto do país ou região de onde são oriundos. Uns encontram-se mais direcionados para o consumo energético, outros para o ciclo de vida e outros ainda para serem um suporte à conceção do edifício. Apesar da diversidade de critérios e da grande quantidade de outros parâmetros a avaliar, todos estes sistemas abrangem [30]:

- a certificação energética;
- a minimização de consumo de água;
- o uso de fontes de energia renováveis;
- a reciclagem;
- o impacto no ambiente;
- a impermeabilização do solo;
- o uso de materiais e técnicas sustentáveis;
- o reaproveitamento de materiais provenientes de demolição.

Dentro dos sistemas de certificação voluntária convém destacar:

- **BREEAM** (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) [31];
- **CASBEE** (*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency*) [32];
- **SBTool** (*Sustainable Building Tool*) [33];
- **LEED** (*Leadership in Energy and Environmental*) [34];
- **BEPAC** (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) [35];
- **HQE** (*Haute Qualité Environnementale*) [36];

Alguns destes mecanismos de avaliação, podem ser aplicados em Portugal com as devidas adaptações. Existem ainda outros como, o *DomusNatura*, *SBTool-PT* e *LIDERA* [37] que estão já a ser aplicados no ramo da construção civil em Portugal.

O que se pretende com estes sistemas, é o desenvolvimento do carácter ambiental das edificações. A maioria dos sistemas pretende ser uma ferramenta de apoio ao projeto e também uma ferramenta de avaliação pós-ocupação.

2.3 DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO E CONCEPÇÃO DOS nZEB

A construção sustentável está em rápido crescimento e evolução, fruto da consensualização da preocupação do Homem com a temática das alterações climáticas globais, do custo elevado e menor disponibilidade das energias fósseis e do impacto destas no meio ambiente e na saúde humana.

A concepção e construção de edifícios sustentáveis (também conhecidos como edifícios verdes), levou à inclusão de tecnologias que possibilitam a criação de um edifício que oferece eficiência como um sistema único, o que pode levar a poupanças de energia na ordem dos 70%, quando comparado com os modelos de construção convencional [38]. Quando se fala em construção sustentável, devemos pensar nos edifícios como um bem único e duradouro. Durante a concepção do projeto, devem ser desenvolvidos métodos e ferramentas que permitam prever, monitorizar e minimizar o consumo de energia. Para atingir níveis ótimos de desempenho, os edifícios devem integrar todos estes sistemas durante o seu ciclo de vida, incluindo construção, operação e uso, renovação e gestão de resíduos [38].

2.3.1 INTEGRAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESEMPENHO E DESIGN DE CONCEPÇÃO

Neste caminho para atingir a sustentabilidade dos edifícios, é imperativo avaliar e integrar o desempenho energético, ambiental e económico ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Atualmente temos acesso a tecnologias económicas que permitem reduzir o consumo energético dos edifícios entre 30% e 50%, porém para alcançar outros patamares só é possível com tecnologias de construção inovadoras [38].

Quando falamos dos NZEB a funcionar como um sistema único, faz sentido a incorporação das ciências de medição, necessárias para quantificar o desempenho energético instalado de componentes e sistemas de construção, otimizar o sistema de controlo, encontrar e dar resposta a variações de desempenho e estabelecer medidas e padrões para avaliar o desempenho na perspetiva de integrar tecnologias emergentes de energia de construção [38].

Na grande maioria das vezes, os edifícios não conseguem alcançar a eficiência energética de projeto, e o seu desempenho tende a descer com o passar do tempo. O que usualmente acontece é que, só existe um dispositivo de medição que permite saber o consumo total de energia. A implementação de novos sistemas de medição, que permitam a leitura instantânea dos consumos por setor, pode ter influência no utilizador levando-o a tomar decisões e adotar boas práticas no que diz respeito ao uso de energia. Além disso, são necessários sistemas avançados de medição não destrutiva que permitam identificar defeitos construtivos e, constituam uma ferramenta de melhoramento da qualidade e boas práticas de construção, com o intuito de obter edifícios com alto desempenho, inteligentes e capazes de responder aos problemas operacionais [38].

A definição de construção de energia zero inclui a energia incorporada, que define a energia que é necessário utilizar desde a extração de matérias-primas até à reciclagem/reutilização dos produtos finais do edifício e seus componentes, juntamente com o uso anual de energia (associado à utilização do edifício), que servirá para introduzir uma perspetiva do ciclo de vida [10].

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma das várias ferramentas utilizadas no setor da construção, como ferramenta de gestão e suporte à tomada de decisão, para alcançar práticas de construção sustentável. Esta metodologia permite quantificar as cargas ambientais de processos e produtos durante todo o ciclo de vida, que abrange a extração e processamento das matérias-primas; fabrico, transporte e distribuição; uso, reutilização, manutenção, reciclagem e disposição final [39].

A ISO 14040:2006 descreve os princípios e o enquadramento para a ACV, incluindo: definição do objetivo e âmbito da ACV, a fase de análise de inventário do ciclo de vida, a fase de avaliação de impacto do ciclo de vida, relatórios e revisão crítica, limitações, relação entre as fases da ACV e condições para o uso de escolhas de valor e elementos opcionais [39].

Embora a ACV dos edifícios seja um tema importante para atingir os nZEB, o pretendido nesta dissertação não é aprofundar a ACV, o que se pretende é antes a elaboração de um projeto tipo de um módulo laboratorial que possa vir a ser classificado como nZEB. O projeto de construção de um nZEB é um processo complexo, e são necessários estudos que permitam identificar necessidades específicas que possam levar a uma estratégia para atingir a sustentabilidade energética desejada.

De uma forma resumida o caminho para atingir os nZEB, deve ter em conta os seguintes pontos [40]:

- Numa primeira fase é crucial estabelecer objetivos claros para o projeto, todas as decisões que forem tomadas têm de considerar o impacto no uso de energia;
- Análise da zona climática. Implementação de tecnologias e técnicas que permitam aos edifícios dar resposta imediata às condições climáticas locais e minimizem as necessidades de energia ao longo do ano;
- Redução das cargas energéticas. A perceção de como a energia será usada no edifício, esclarecerá a forma como poupar energia;
- Recurso a energia natural. A produção de energia no local de construção e a utilização de energia verde (solar (para calor e / ou eletricidade), vento, ondas, biocombustíveis, geotérmica e hidroelétrica), são as áreas onde poderão existir mais oportunidades de progresso.

2.4 ESTRATÉGIAS E TECNOLOGIAS PARA O PROJETO DE EDIFÍCIOS nZEB

Os níveis de desempenho dos edifícios têm merecido especial atenção e caminham para patamares cada vez mais exigentes, no que diz respeito à sua eficiência energética e aos níveis de conforto e qualidade do ar interior, por via regulamentar. Este bom desempenho energético, obrigatório e generalizado, passa pela qualidade dos produtos e soluções adotadas, soluções essas que podem ser passivas (arquitetura, soluções construtivas) ou ativas (climatização e iluminação artificial) [41].

O presente subcapítulo serve para enumerar as estratégias e tecnologias, que estão na base da criação de qualquer edifício nZEB, e as quais vão ser muito úteis no desenvolvimento desta dissertação.

2.4.1 FORMA E LOCALIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

É indiscutível que a forma do edifício tem um impacto importante na eficiência energética do mesmo, podendo então concluir-se que, por norma, a forma ótima a adotar é aquela que garante a menor transmissão de calor no inverno e a menor absorção de calor no verão. No entanto, a forma ótima pode variar consoante o tipo de clima.

Ainda, quanto mais compacta for a forma do edifício (poucas saliências e reentrâncias a juntar a uma reduzida superfície exterior) menores serão as perdas de calor e, como consequência, melhor será também o seu desempenho energético global [41].

A necessidade de aquecimento dos edifícios no Inverno resulta da perda do calor gerado no seu interior, através das paredes, janelas, telhados, etc., ou seja, através das superfícies externas do edifício [42].

É possível fazer uma comparação da forma de diferentes edifícios através dos seus fatores de forma (FF). Quanto maior for a superfície (S) que envolve o volume (V) aquecido, maior será a transferência de calor, ou seja, para ser eficiente do ponto de vista energético, um edifício deve ter um FF baixo.

Na

Figura 7, estão representadas várias formas de edifícios e os respetivos valores do FF, sendo que, segundo o *Passivhaus Institut* [43], o valor de $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$ é considerado o máximo para uma compacidade favorável do edifício.

Fator de Forma favorável:
 $A/V \leq 0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$

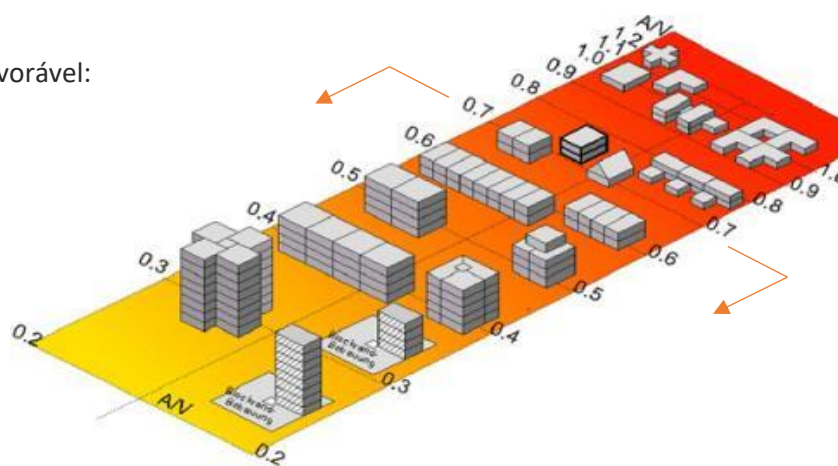


Figura 7 - Fatores de forma para diferentes tipologias de edifício (Adaptado de [41]).

Por outro lado, temos de avaliar a localização do edifício, pois dependendo da zona climática (Figura 8) onde este está inserido, terá influência direta nas necessidades térmicas do espaço interior.

Estas necessidades estão contempladas no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios (REH e RECS), onde se apresentam estratégias que contribuem significativamente para a melhoria do desempenho térmico dos edifícios. O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Adicionalmente, são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente. Todos os parâmetros descritos anteriormente podem ser consultados de forma mais pormenorizada no Despacho (extrato) nº 15793-F/2013 [27],[44].

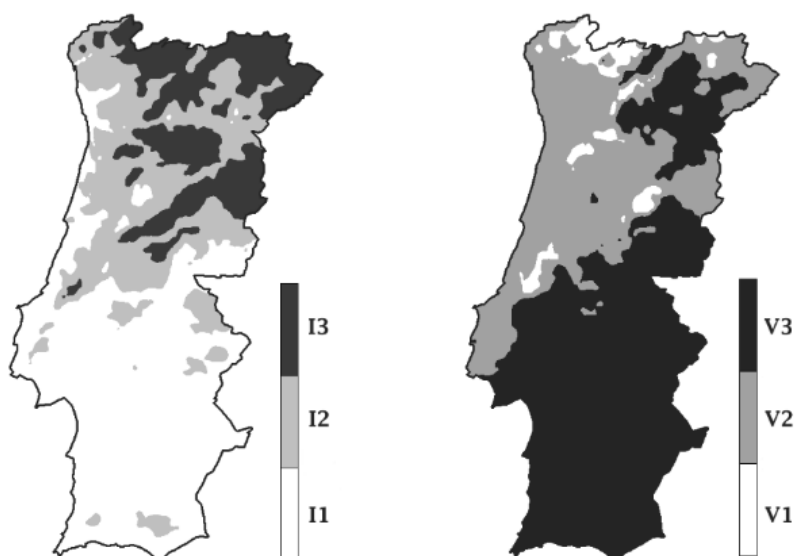


Fig. 01.01 - Zonas climáticas de inverno no continente

Fig. 01.02 - Zonas climáticas de verão no continente

Figura 8 - Zonamento Climático de Portugal Continental [45].

Para uma melhor explicação da Figura 8, as zonas classificadas como I1 correspondem a locais com menores necessidades de aquecimento no Inverno, enquanto que as zonas I3 terão necessidades mais elevadas. Da mesma forma, no Verão, as zonas V3 terão maiores necessidades de arrefecimento do que as regiões V1.

Para além da zona climática, também se deve verificar se o edifício está localizado numa área com boa ventilação, mas sem estar diretamente sujeito a ventos fortes [41].

2.4.2 ORIENTAÇÃO E APROVEITAMENTO SOLAR PASSIVO

Escolher criteriosamente a orientação e implantação do edifício segundo as condições da zona climática é uma medida essencial para otimizar os ganhos solares. Conforme o clima, podem ser privilegiadas certas características em detrimento de outras. Isto é, se estivermos em condições de clima muito frio, o dimensionamento do edifício é mais

orientado para a eficiência do mesmo durante a estação de aquecimento, e se o clima for muito quente é exatamente o oposto.

Em Portugal, a captação eficaz de energia solar constitui um fator primordial a ter em consideração. Apesar de existir um clima moderado, nota-se uma demarcação muito significativa da estação quente (Verão) e fria (Inverno). Como tal, na região mediterrânea, para um bom aproveitamento dos ganhos solares, deve ser privilegiada a orientação a sul, em detrimento de orientações a este e oeste visto que durante o Verão estas têm elevada incidência de radiação solar. No caso de impossibilidade de orientar o edifício a sul, deve optar-se por orientá-lo a este em vez de a oeste, beneficiando da capacidade de aquecer o edifício nas primeiras horas do dia e evitando a incidência direta da luz solar durante o período da tarde.

O projeto de conceção de um nZEB deve incluir um desenho adequado da envolvente exterior, com um bom aproveitamento da radiação solar, da ventilação natural e sistemas de aquecimento e arrefecimento.

É muito importante conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia para as diferentes estações do ano (Figura 9) para aproveitar da melhor forma os ganhos solares para o interior do edifício nos casos em que o contributo da radiação é favorável e restringir a sua entrada, nos casos em que se afigura inconveniente.

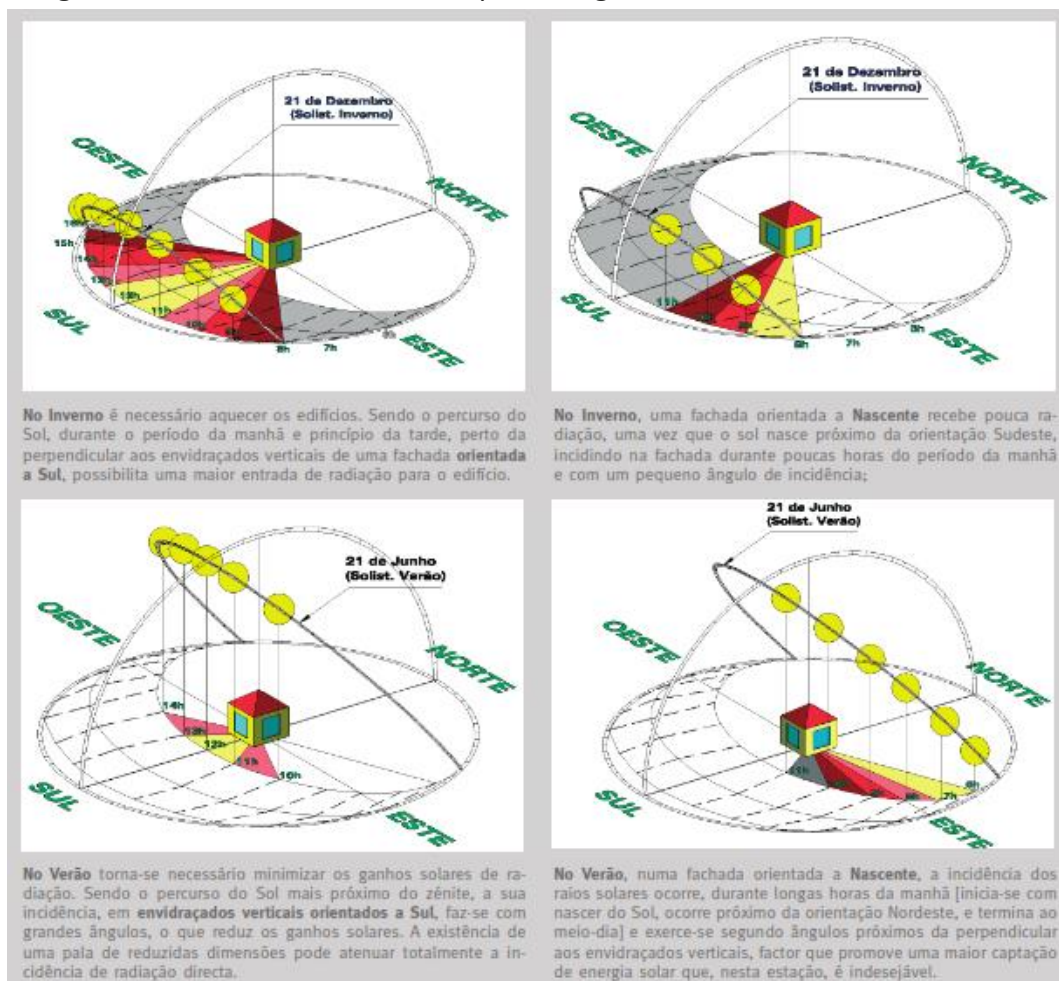


Figura 9 - Radiação solar nas fachadas [46].

2.4.3 ENVOLVENTE

O papel da envolvente de um edifício tem um impacto significativo no certificado de eficiência energética. Os elementos que formam a envolvente de um edifício são aqueles que, conforme o seu nome indica, separam o espaço interior, aquecido, de um qualquer espaço não aquecido ou do exterior, podendo incluir paredes opacas, coberturas, pavimentos e vãos envidraçados.

A envolvente representa um importante ponto de intervenção para a melhoria da eficiência de qualquer edifício, sendo que, o tipo de materiais e sistemas a aplicar na sua construção devem ser alvo de uma escolha criteriosa. As características principais a ter em conta, no que diz respeito aos ganhos e perdas de energia (Figura 10), são a inércia térmica do material e o seu poder isolante.

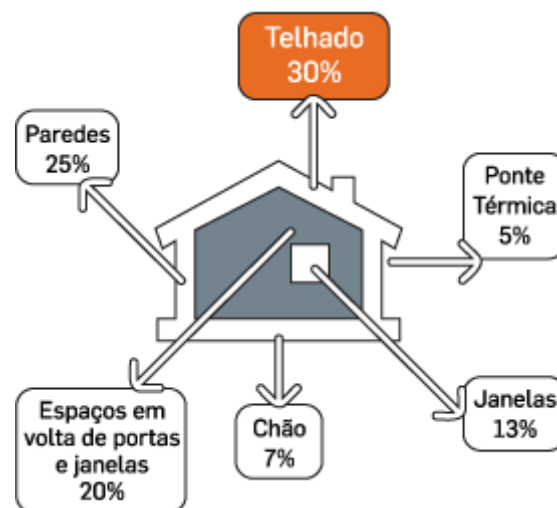


Figura 10 - Principais pontos de perda energética numa habitação.

Como podemos constatar pela análise da referida Figura 10, o telhado, as paredes e a ventilação representam a maior parte das perdas energéticas pela envolvente, logo o seu dimensionamento deve ser muito cuidadoso. No entanto, para se dimensionar um edifício o mais eficiente possível, nenhum fator deverá ser esquecido. Assim, de modo a diminuir os gastos energéticos, as melhorias relacionadas com a envolvente podem e devem contemplar diversas características, como por exemplo aumento da inércia térmica, que permite uma acumulação de energia, de modo a controlar as variações de temperatura no interior dos edifícios, isolamentos térmicos, coberturas, paredes exteriores, pavimentos e vão envidraçados.

2.4.3.1 INÉRCIA TÉRMICA

Os materiais e elementos construtivos utilizados têm influência nas condições de conforto interior dos edifícios. Uma das principais características a ter em conta nas estratégias passivas dos NZEB, no que diz respeito aos ganhos e perdas de energia é a inércia térmica. A inércia térmica está relacionada com a transferência de calor entre o

ambiente externo e o interno, sendo que os materiais pesados e densos, como, por exemplo, os tijolos maciços e a pedra, têm uma elevada capacidade térmica, funcionando como reservatórios de calor e atenuadores térmicos, ou seja, têm a capacidade de contrariar os picos climáticos exteriores.

Para efeitos do regulamento foram definidas três classes de inércia térmica: forte, média e fraca. A classe da inércia térmica resulta do cálculo da massa superficial útil por metro de área de pavimento cuja definição, cálculo e terminologia empregue vêm descritos no Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 [44].

O isolamento e a inércia térmica não devem ser confundidos, mas sim integrados, quer nos novos edifícios quer na reabilitação dos edifícios existentes, consoante as variações climáticas exteriores, o regime de utilização dos edifícios e dos sistemas energéticos complementares. As massas térmicas são úteis, também no inverno, aconchegadas pelo isolamento térmico, mas em complemento com as aberturas solares [47].

2.4.3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO

O isolamento da envolvente opaca do edifício é uma das medidas a adotar para se obter um bom desempenho energético. Um mau isolamento origina maiores consumos energéticos, em particular com o aquecimento e a refrigeração de espaços, uma vez que no Inverno ocorre um arrefecimento mais rápido podendo dar origem a condensações no seu interior, e no Verão um aquecimento excessivo e num curto espaço de tempo, originando incomodidade. Por esta razão é essencial diminuir as perdas e os ganhos de calor utilizando técnicas de isolamento adequadas nos edifícios.

No mercado, existem vários tipos de materiais (Figura 11) e técnicas de isolamento, dependendo a sua escolha das condições climatéricas da zona (ou seja, do grau de isolamento que se pretende alcançar) ou de quaisquer outras restrições de construção da área visada.



Figura 11 – Tipos de isolamento e respetivos valores de condutibilidade térmica, [W/(m.°C)] [48].

Para proporcionar um nível baixo de transmissão de calor do edifício, o isolamento deve cumprir os seguintes requisitos [42]:

- todas as partes estruturais (isto é, pilares, vigas, paredes de proteção) devem ser instaladas pelo seu interior;
- dever-se-á evitar ao máximo o aparecimento de pontes térmicas, isto é, áreas em que o calor é dissipado em maior quantidade do que no resto do edifício (zonas de junção entre materiais diferentes, possíveis discontinuidades na colocação do isolamento, como pode acontecer nos pilares, nas vigas ou no recorte das janelas);
- as janelas e as portas devem ser montadas utilizando métodos de construção específicos, de forma a criar uma barreira de corte de calor, reduzindo assim a sua entrada e saída;
- as varandas e terraços não devem entrar em contacto com as estruturas posicionadas dentro da área isolada, devendo ser elementos estruturais separados.

2.4.3.3 PAREDES EXTERIORES

As paredes exteriores constituem uma das maiores superfícies da envolvente dos edifícios e, como tal, é prioritária a colocação de isolamento, para garantir a melhoria do conforto térmico, maior isolamento acústico entre outros fatores não menos importantes.

Com a EPBD Reformulada – Decreto-Lei n.º 118/2013 [27], surge também a obrigatoriedade de cumprir determinados requisitos energéticos, nomeadamente nos elementos opacos verticais exteriores. Estes requisitos variam consoante a zona climática de inverno (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores do coeficiente de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos verticais, em edifícios de habitação e de comércio e serviços (Adaptado de [49] e [50]).

| U_{ref}^1 [W/(m ² .°C)] | Zona Climática | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | Portugal Continental | | | | | |
| Zona corrente da envolvente: | REH | | | RECS | | |
| | I1 | I2 | I3 | I1 | I2 | I3 |
| Elementos opacos verticais | 0,50 | 0,40 | 0,35 | 0,70 | 0,60 | 0,50 |

¹ U é o coeficiente de transmissão térmica superficial de uma solução construtiva e refere-se à capacidade que esta tem em conduzir o calor do interior para o exterior do edifício. Quanto menor for este valor melhor será o desempenho energético da solução.

O isolamento pode ser colocado pelo exterior ou pelo interior da parede, são inúmeras as soluções de isolamento térmico possíveis para paredes exteriores, no entanto é importante definir o sistema de isolamento mais eficaz.

O isolamento pelo interior, tal como o próprio nome indica, consiste na colagem do material de isolamento na face interior das paredes exteriores. É indicado no caso de ações seletivas como para o isolamento de uma parede orientada a Norte. O isolamento pode ser poliestireno expandido, fibra de vidro e placas de poliuretano, sobre o qual é aplicado o acabamento final (tinta, papel de parede, etc.) da parede interior. Este método evita as pontes térmicas em pilares (mas não nas vigas e lajes), e tem o inconveniente de deixar de se aproveitar a inércia térmica das paredes, para além de reduzir o espaço interior, diminuindo a área útil [42].

Outra das soluções possíveis de ser aplicada nas paredes externas é o isolamento térmico de paredes simples com revestimento aderido ETICS (*External Thermal Insulation Composite System* – Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior) (Figura 12) ou com fachada ventilada [51].

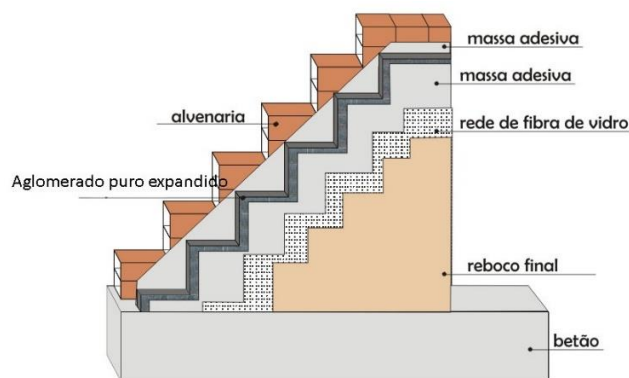


Figura 12 - Aplicação do aglomerado puro expandido no isolamento em fachadas – ETICS [51].

Esta forma de isolamento é uma ótima solução, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo, consiste na aplicação de placas de material isolante ou aplicação contínua de uma espuma nas paredes exteriores e em cobrir esses materiais com um revestimento/reforço/reboco adequado, que pode ser pintado ou revestido de outros materiais [42].

Esta forma de isolar as paredes exteriores apresenta vantagens significativas em termos de capacidade de aquecimento do edifício, uma vez que o isolamento externo é contínuo, as pontes térmicas são quase totalmente eliminadas. Por conseguinte, conseguimos diminuir o risco de condensações, aumentar a inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra no interior do isolamento térmico, aumentar a proteção conferida às paredes, face às agressões dos agentes atmosféricos (choque térmico, água líquida, radiação solar, etc.), melhorar a impermeabilidade, entre outros, que são mais difíceis de alcançar através do isolamento pelo interior [42],[51].

Atualmente, a par do desempenho da fachada, importa também a qualidade estética. A imagem transmitida pela fachada é muito importante para tornar o local onde se

encontram mais agradável e atrativo. É nesta linha de pensamento, que se enquadra o interesse das fachadas ventiladas e das fachadas verdes, possibilitando soluções de acabamento que poderão marcar uma nova arquitetura, tanto do ponto de vista estético como de eficiência de desempenho.

As fachadas ventiladas são um sistema para revestimento exterior, que tem vindo a ganhar importância na construção moderna, e caracteriza-se pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando assim, uma câmara-de-ar em movimento. O adjetivo “ventilada” deriva, exatamente, desta câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede através do efeito de chaminé (o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior) (Figura 13) [52].

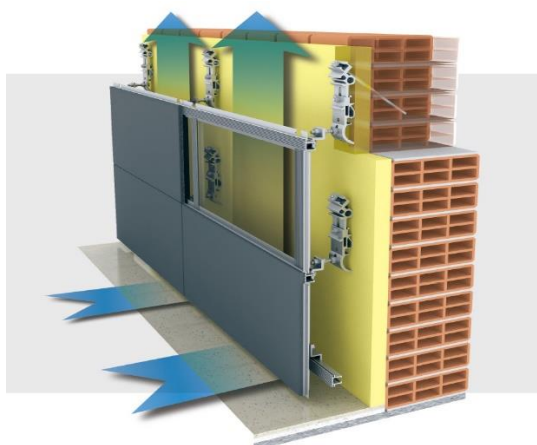


Figura 13 – Esquema representativo do fluxo de ar numa fachada ventilada [53].

A existência de um isolamento contínuo pelo exterior limita as transferências de calor na parede e minimiza as pontes térmicas. Este isolamento deverá ser permeável ao vapor de água de modo a beneficiar da vantagem que este sistema oferece através da ventilação que canaliza o vapor de água para o exterior, evitando a ocorrência de condensações interiores. Em relação ao revestimento exterior, este pode ser de diferentes materiais tais como, betão, polímero, alumínio, vidro, cerâmica, pedra e madeira modificada.

O design ecológico é um novo conceito no campo de design, que surge com a necessidade de um tratamento mais cuidadoso e sustentável do nosso meio ambiente e dos nossos recursos.

Em resultado de um desenvolvimento urbano maciço, assistimos a uma diminuição das áreas verdes, áreas permeáveis que dão lugar ao betão, impermeabilizando o solo e criando zonas superaquecidas, as chamadas Ilhas de Calor. Como consequência, têm-se vindo a desenvolver novas estratégias e métodos de construção, na procura de soluções para minimizar os efeitos ambientais nocivos das infraestruturas urbanas e de novos espaços alternativos para a implantação da vegetação [54].

Uma das soluções sustentáveis são os VGS (*Vertical Greening Systems* - Sistemas Verdes Verticais ou Ecológicos) são também conhecidos como paredes verdes, jardins biológicos ou bio paredes. Estes sistemas consistem em estruturas verticais que

dispersam a vegetação, que pode ou não estar agarrada à fachada exterior do edifício ou a uma parede interior. Existem diversos sistemas para a sua construção, que vão desde a configuração mais simples até à mais complexa e de alta tecnologia [54].

Com base no tipo de vegetação e estruturas de suporte utilizadas, existem categorias diferentes para os VGS (Figura 14), porém as mais conhecidas são as fachadas verdes e paredes vivas. A diferença principal entre eles é que as fachadas verdes usam um sistema de treliças para fixar as plantas do tipo trepadeiras que estão plantadas diretamente no solo; já nas paredes vivas as plantas são plantadas em módulos individuais e independentes, que serão fixados separadamente nas paredes, sendo cada módulo autossuficiente [55].

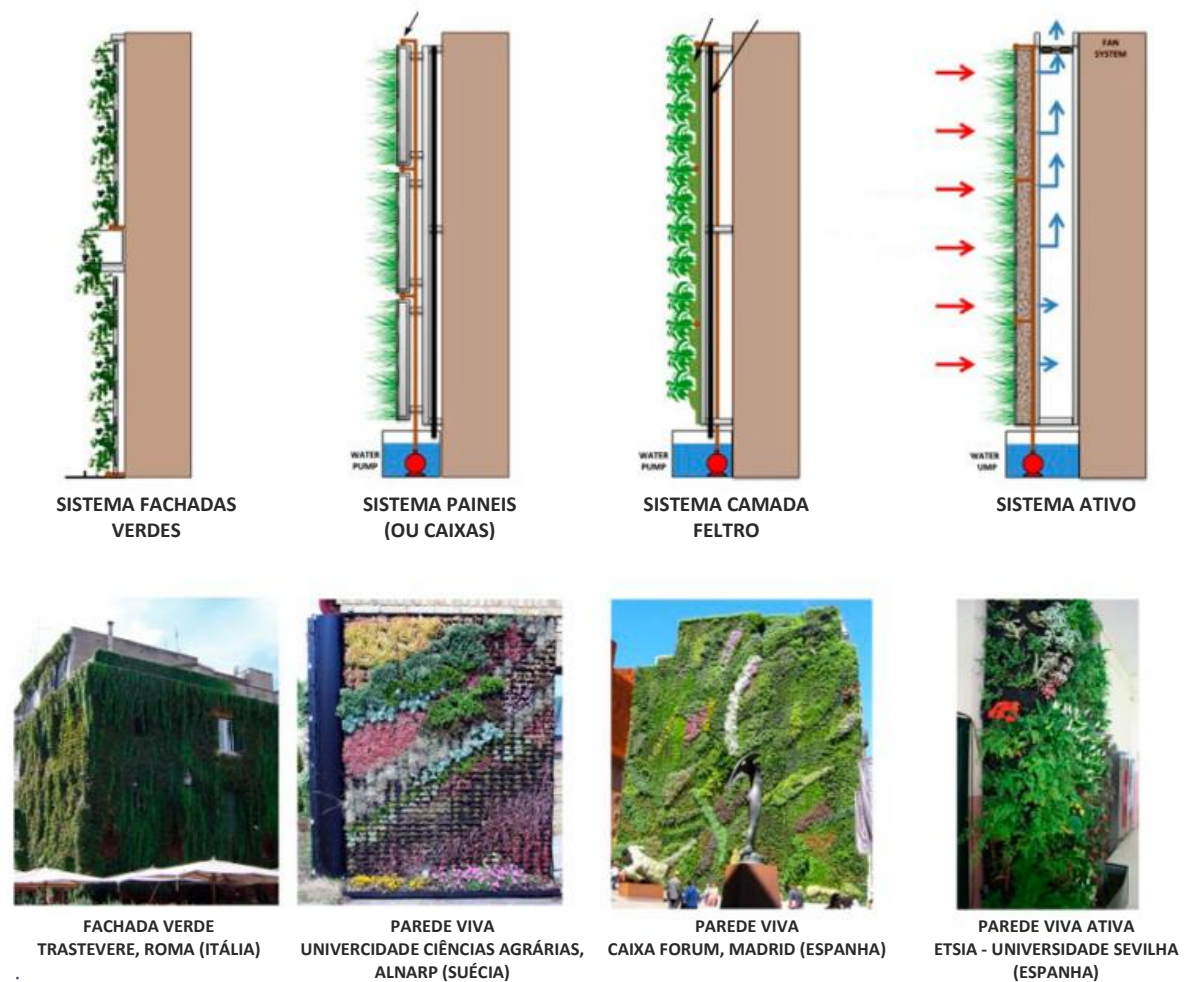


Figura 14 – Sistema Verdes Verticais (VGS): categorias e exemplos [54].

De uma forma resumida, as plantas quando estrategicamente integradas nas fachadas dos edifícios, podem atuar como dispositivos de sombreamento sensíveis às mudanças climáticas sazonais. O sombreamento máximo ocorre no verão quando a planta está no seu pico de crescimento, em sentido inverso no outono e inverno a queda de folhas reduz o sombreamento e permite que a radiação solar benéfica seja absorvida pela superfície [56].

As vantagens para o uso das fachadas verdes são inúmeras, e passam pelo melhoramento do isolamento térmico: combate às altas temperaturas no verão e manutenção da temperatura interna no inverno; redução do barulho externo (a vegetação absorve os ruídos); melhoria da qualidade do ar; melhoria da eficiência energética (reduzindo a necessidade de refrigeração interna); embelezamento da paisagem urbana; retenção das águas das chuvas (diminuindo a necessidade de escoamento e ainda funcionando como filtro); ao mesmo tempo é um conceito económico e acessível, necessitando apenas de rega automatizada e programada e de manutenção constante para manter uma boa aparência.

2.4.3.4 COBERTURAS

Como já mencionado anteriormente, juntamente com as paredes exteriores, as coberturas são as superfícies da envolvente que mais contribuem para as perdas de calor num edifício (Figura 10). A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício torna-se particularmente evidente ao verificarmos que a cobertura, de todos os elementos da envolvente, é aquele que está sujeito às maiores amplitudes térmicas, tanto no Inverno (estação de aquecimento), como no Verão (estação de arrefecimento) [42].

Muitas das coberturas tradicionais apresentam anomalias, consequência da degradação contínua ao longo dos anos e da ausência de isolamento térmico, fruto da idade das construções, conforme podemos ver na Figura 15.

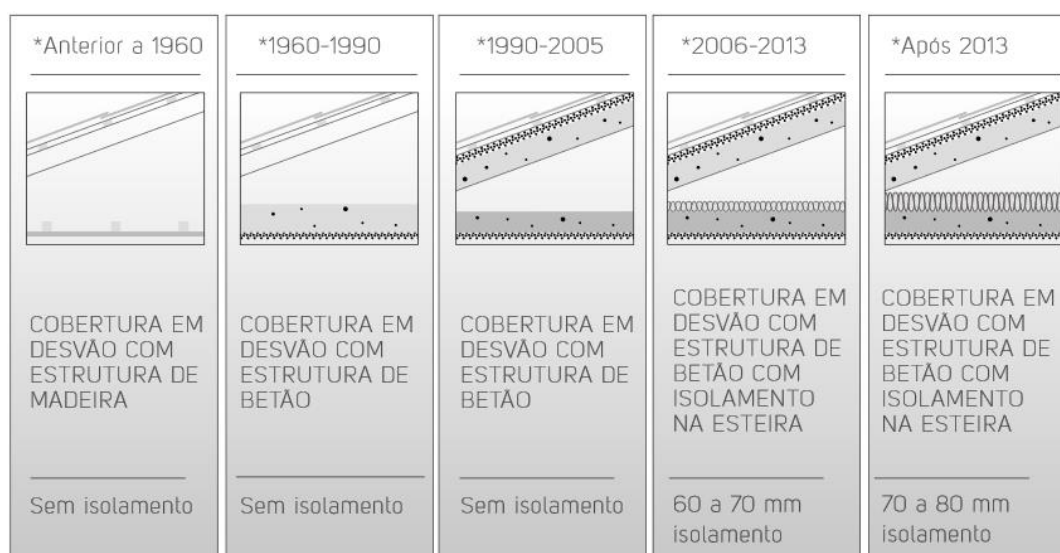


Figura 15 - Evolução do isolamento nas coberturas ao longo dos anos [57].

A colocação de isolamento térmico nas coberturas é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, permitindo o controlo do elevado fluxo de calor descendente (do exterior para o interior) durante o Verão diminuindo os ganhos térmicos e, no Inverno, quando as temperaturas no interior são maiores que no exterior permite a limitação dos fluxos ascendentes reduzindo as perdas térmicas. Para além da

eficiência energética existem outros aspetos a considerar no isolamento de coberturas tais como a impermeabilização de forma a evitar infiltrações e as características dos materiais devendo ter em especial atenção a resistência e reação ao fogo e também a sua capacidade de atenuação acústica [57].

Os níveis de isolamento adequados variam consoante a região do país. O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado pelo Decreto-Lei n.º 68 -A/2015, de 30 de abril, pelo Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro, e pelo Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro, aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios. O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação estabelece os requisitos energéticos aplicáveis aos elementos opacos horizontais em contacto com o exterior (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores do coeficiente de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos horizontais, em edifícios de habitação e de comércio e serviços, (Adaptado de [49] e [50]).

| U_{ref} [W/(m ² ·°C)] | Zona Climática | | | | | |
|------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | Portugal Continental | | | | | |
| Zona corrente da envolvente: | REH | | | RECS | | |
| | I1 | I2 | I3 | I1 | I2 | I3 |
| Elementos opacos horizontais | 0,35 | 0,30 | 0,25 | 0,50 | 0,45 | 0,40 |

No que diz respeito às coberturas, existem 2 tipos principais a salientar, as inclinadas e as planas. A colocação do isolamento depende essencialmente da sua forma e do tipo de utilização do espaço (Figura 16).



Figura 16 – Estratégia de colocação de isolamento nas coberturas tendo em conta o tipo de utilização do espaço, [57].

Em coberturas inclinadas, se o desvão for habitável (por exemplo um sótão), o isolamento térmico exterior deve, sempre que possível, ser aplicado sob o telhado e sobre a impermeabilização da laje (isolamento das vertentes), ou em posição inferior

(sob a estrutura de fixação das telhas) no caso de telhados sem laje, podendo ser revestido pelo interior com outro material [42].

Caso exista um desvão não habitável, deve ser assegurada forte ventilação e é recomendada a colocação do material isolante sobre o pavimento (isolamento da esteira horizontal), evitando-se assim a necessidade de aquecer o desvão na estação de aquecimento e havendo um melhor desempenho na estação de arrefecimento devido à forte ventilação do desvão [42].

Se for uma cobertura horizontal, o isolamento térmico pode ser superior, intermédio ou inferior. A opção mais conveniente é uma solução de cobertura invertida, isto é, o isolamento em forma de placas, é aplicado de preferência sobre a camada de impermeabilização com posterior aplicação de uma proteção pesada para o fixarem e protegerem dos choques térmicos e da degradação por radiação ultravioleta [42].

Os materiais de isolamento térmico nas coberturas, podem ser vários, sendo que na generalidade dos casos são os mesmos que se aplicam nas paredes exteriores. Os mais correntes são o poliestireno extrudido (XPS) e o poliestireno expandido (EPS).

Contudo, tal como no caso das paredes exteriores, existem outras soluções e processos disponíveis para se dissipar e bloquear a radiação solar nas coberturas.

Quando falamos de novas soluções estas têm obrigatoriamente de se constituir como alternativa viável e sustentável perante os telhados e lajes tradicionais. As coberturas verdes são uma ótima solução para as coberturas planas e inclinadas, devido às suas excelentes características bioclimáticas.

“É designada cobertura verde (ou cobertura ajardinada ou cobertura viva) todo o tipo de instalação de vegetação sobre uma estrutura construída, independentemente do tipo de construção ou do tipo de vegetação.”[58]

As coberturas verdes surgem como ótima solução arquitetónica das cidades, contribuindo para o ganho de espaços verdes, que lhes foram retirados aquando da massiva implantação de construções (Figura 17). Para além das questões estéticas, estas coberturas comportam diversas vantagens a diferentes níveis, sendo que as principais são [58]:

- diminuição da poluição – promove a melhoria da qualidade do ar através da captação de CO₂, libertação de oxigénio e da absorção de substâncias tóxicas;
- melhoramento do microclima e conseqüente redução do efeito de ilha de calor;
- melhoramento do isolamento acústico;
- maior capacidade de retenção de água das chuvas, reduzindo problemas de drenagem durante os picos de precipitação e capacidade de filtragem dessas águas;
- promoção da biodiversidade, atraindo pássaros, borboletas entre outros;
- redução de custos energéticos pelo isolamento térmico que conferem aos edifícios;

Contudo como toda e qualquer solução, esta também apresenta algumas desvantagens, a salientar: a necessidade contínua de manutenção de forma a manter a estrutura

saudável e com boa aparência; restrições quanto à estrutura que podem inviabilizar a sua implementação; possibilidade de um elevado investimento financeiro inicial e risco de infiltrações se não aplicado de forma correta.



Figura 17 – Cobertura verde da escola de Arte, Design e Comunicação da Universidade de Nanyang, em Singapura.

As coberturas verdes podem ser classificadas em três categorias: extensiva, intensiva e semi-intensiva [58].

De uma forma resumida, tanto coberturas extensivas quanto as intensivas são essencialmente constituídas pelos seguintes elementos (ver Figura 18) [59]:

1. **Sistema de impermeabilização** preferencialmente colocado diretamente por cima da laje, prevenindo possíveis infiltrações;
2. **Isolamento térmico** do tipo e espessura previsto no cálculo térmico, colocado sobre a membrana de impermeabilização, garantindo a sua proteção contra agentes externos;
3. **Camada de drenagem** responsável pela regulação da água, mantendo apenas a quantidade necessária para a vegetação;
4. **Camada de proteção** para evitar danos na estrutura provocados pelas raízes;
5. **Camada de substrato** responsável pelo crescimento das espécies vegetais;
6. **Camada vegetal** que deve ser escolhida em função das condições do clima local e da cobertura.

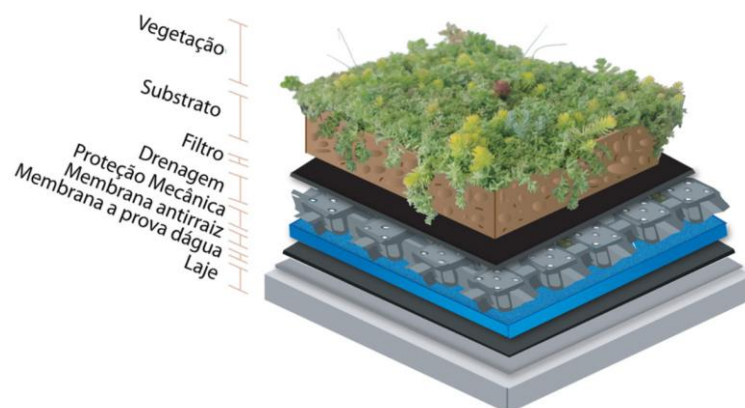


Figura 18 - Esquema dos vários componentes de uma cobertura verde, [60].

Para além das diversas soluções térmicas a nível do topo dos edifícios, acima referidas, existe também outra forma de reduzir os ganhos de calor indesejados, que passa pela diminuição da absorção da energia solar, através da implementação de materiais refletivos.

2.4.3.5 PAVIMENTOS

As perdas de calor pelos pavimentos representam 7% das perdas totais dos edifícios (Figura 10). Tal como os restantes elementos construtivos da envolvente, para colmatar as perdas de calor e, conseqüente consumo de energia é fundamental a aplicação de isolamento térmico.

Os pavimentos que requerem maior isolamento térmico, são aqueles que estão em contato com o solo, uma vez que o diferencial de temperatura que pode ocorrer no período de Inverno pode causar condensações e causar desconforto no interior dos edifícios. Neste tipo de pavimentos o isolamento deve ser aplicado sobre a laje de fundo, de forma a maximizar a inércia térmica do edifício e evitar o fenómeno de condensações e pontes térmicas. Nesta situação deve-se utilizar como isolamento um material que não altere a sua resistência térmica por estar em contacto com o solo, como é o caso do poliestireno expandido (XPS) [42].

2.4.3.6 VÃOS ENVIDRAÇADOS

Dada a elevada taxa de utilização diurna dos edifícios de comércio e serviços, uma inadequada gestão da energia traduz-se em gastos desnecessários. Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e iluminação são na maioria dos casos os maiores consumidores de energia, pelo que, uma das grandes preocupações da engenharia é conceber edifícios que reduzam ao máximo a utilização deste tipo de sistemas, optando por soluções que sejam capazes de tornar os edifícios mais eficientes do ponto de vista energético.

A utilização de vãos envidraçados de grandes dimensões tem vindo a ser tendência nas novas construções e, conseqüentemente representam grandes áreas da envolvente exterior dos edifícios.

Os sistemas de caixilharia, vidros e sombreamento, que compõem os vãos envidraçados, estando em permanente contato com o ambiente exterior, e devido à elevada condutibilidade, desempenham um papel muito importante no domínio da eficiência térmica do edifício [42].

Recentemente, com o avanço tecnológico, existem agora sistemas de janelas e vidros de elevado desempenho e eficiência energética que comportam características que permitem reduzir as perdas de calor, podendo na maioria dos climas, reduzir o consumo de energia até 50% em edifícios residenciais e reduzir os custos de iluminação e HVAC de 10% a 40% em edifícios de comércio e serviços [61].

A escolha dos vãos envidraçados dependerá de muitos fatores, incluindo o tipo de uso do edifício, o clima local ou até mesmo a orientação do edifício, sendo que devem ser considerados os seguintes requisitos [61]:

- Ganhos e perdas de calor;
- Requisitos visuais (privacidade, brilho, visão);
- Sombreamento e controlo solar;
- Conforto térmico e acústico;
- Controle de condensação e dos raios UV;
- Quantidade de iluminação diurna;
- Qualidade dos isolamentos.

As perdas de calor pelos vãos envidraçados ocorrem por três processos físicos: condução, convecção e radiação.

No que aos vãos envidraçados diz respeito, em termos de eficiência energética e de modo a prevenir os fenómenos de sobreaquecimento dos espaços, a regulamentação atualmente em vigor impõe requisitos mínimos para o coeficiente de transmissão térmica (U_w) (Tabela 7) e para o fator solar (g_t) (Tabela 8) dos vãos envidraçados, para novos edifícios.

Tabela 7 - Valores do coeficiente de transmissão térmica superficiais de referência de vãos envidraçados exteriores, em edifícios de habitação e de comércio e serviços, (Adaptado de [49] e [50]).

| U_{ref} [W/(m ² ·°C)] | Zona Climática | | | | | |
|------------------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | Portugal Continental | | | | | |
| Zona corrente da envolvente: | REH | | | RECS | | |
| | I1 | I2 | I3 | I1 | I2 | I3 |
| Vão envidraçados exteriores (portas e janelas) | 2,80 | 2,40 | 2,20 | 4,30 | 3,30 | 3,30 |

Tabela 8 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados, em edifícios de habitação e de comércio e serviços, (Adaptado de [49] e [50])

| Classe de Inércia / Fator solar máximo ($g_{Tmáx}$) | Zona Climática | | | | | |
|----------------------------------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|
| | REH | | | RECS | | |
| | V1 | V2 | V3 | V1 | V2 | V3 |
| Fraca | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,56 | 0,56 | 0,50 |
| Média | 0,56 | 0,56 | 0,50 | | | |
| Forte | 0,56 | 0,56 | 0,50 | | | |

Já se encontra disponível em Portugal, por iniciativa da ADENE, a etiquetagem energética CLASSE+, destinada aos componentes dos edifícios que não possuem etiqueta energética europeia, como as janelas, os isolamentos, as tintas e os elevadores. O primeiro produto classificado segundo este sistema foram as janelas. Na prática, uma

janela com etiqueta CLASSE+ é um produto cujo desempenho energético foi devidamente classificado numa escala de A+ a F, para além de indicar o nível de conforto que a janela pode proporcionar, como podemos ver na Figura 19 [62].

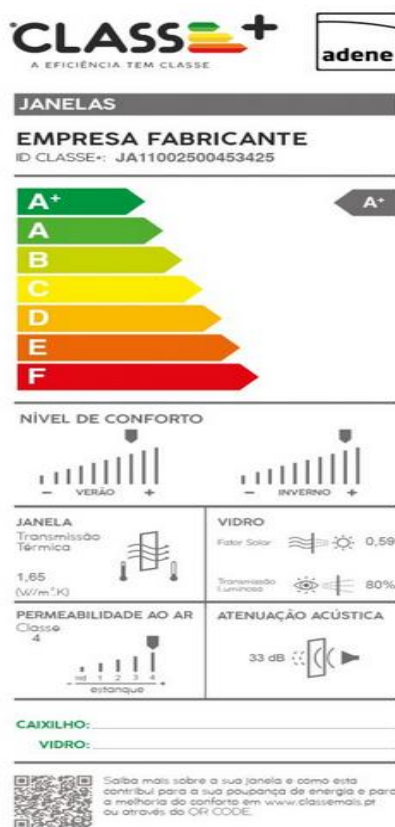


Figura 19 – Etiquetagem energética das janelas, [62].

PROTEÇÕES SOLARES

São inúmeras as razões para querer controlar a quantidade de luz solar que é admitida pelos edifícios. No verão, o excesso de ganho solar pode resultar num alto consumo de energia no arrefecimento; em sentido oposto, o sol de inverno entrando nas janelas viradas para o sul pode contribuir positivamente para o aquecimento solar passivo e controlar e difundir a iluminação natural de modo a melhorar a iluminação.

Para um correto dimensionamento e aplicação dos sistemas de sombreamento, é necessário ter em consideração o tipo de clima e orientação do edifício; conhecer o percurso do sol ao longo do dia, devido aos ângulos de incidência da radiação nos vãos envidraçados; mantendo desta forma um equilíbrio entre a necessidade de proteção solar e a iluminação natural.

Os diversos sistemas de sombreamento são classificados em função da sua localização no edificado e em função da possibilidade de manuseamento, como podemos ver na Figura 20.



Figura 20 - Tipos de sistemas de sombreamento existentes, [63].

Dentro dos vários tipos de sombreamento existentes, existe uma extensa e complexa diversidade de soluções, sendo que podemos ainda destacar outro sistema que se distancia mais dos tradicionais, o sistema avançado de vidros de controlo solar.

A escolha do tipo e das dimensões de um protetor solar será feita de acordo com a eficiência desejada. Para compreender melhor qual dos sistemas de sombreamento é mais eficaz para um determinado caso em particular, é importante avaliar as vantagens e desvantagens dos mesmos.

Numa primeira análise, quanto aos ganhos térmicos, o sombreamento pelo exterior mostra-se mais eficaz, permitindo um maior controlo da radiação, evitando assim as trocas de calor através dos vidros o aquecimento, contrariamente ao sombreamento pelo interior em que a radiação é absorvida para o interior do edifício através do vidro provocando um aquecimento do ambiente interior. Assim sendo, e para o nosso clima, um sombreamento exterior tem um melhor desempenho térmico no geral, embora na estação de aquecimento necessitem de um ligeiro aumento da climatização artificial, em comparação com os sombreamentos interiores que apresentam uma maior eficácia na proteção contra o excesso de iluminação solar. Os sistemas exteriores, quando têm a função de sombrear, por vezes permitem a circulação do ar ajudando no arrefecimento. Outra das diferenças é o impacto visual de ambos, sendo que os sistemas exteriores têm um papel mais ativo na imagem e carácter estético das fachadas [64].

Os sistemas integrados, proteção solar colocada entre dois vidros, demonstram ser uma boa solução, uma vez que combina as vantagens de ambos os sistemas anteriores. Este sistema evita a acumulação de poeiras no dispositivo de sombreamento, favorece o controlo do ruído exterior e uma vez colocada à frente do vidro interior, também demonstra uma grande eficácia na proteção da transmissão de calor em relação a este. Tal como mencionado anteriormente os sistemas exteriores podem ser fixos ou móveis. Quando estes são fixos, proporcionam um determinado sombreamento mediante a altura do dia e a estação do ano, podendo limitar a entrada de luz natural quando necessário. Sendo parte integrante da estrutura dos edifícios, deve haver um compromisso no seu dimensionamento; devem ser calculados e desenhados para cada

fachada (segundo a sua orientação) não só segundo a dimensão dos vãos envidraçados, mas também segundo a orientação solar ao longo do ano do local de implantação dos edifícios [64].

Os sistemas móveis têm a possibilidade de ser controlados manual ou automaticamente, o que permite um maior controlo dos raios solares, ajustando-se às condições térmicas confortáveis para o ocupante ao mesmo tempo que podem fazer uma gestão da entrada de luz natural, proporcionando bons níveis de iluminação ao longo de todo ano, desde que aplicados e geridos corretamente [64].

2.4.4 SOLUÇÕES PASSIVAS

Entendem-se por soluções passivas as soluções naturais incorporadas na construção do edifício, com o objetivo de controlar os fluxos naturais de energia e assim otimizar os ganhos solares e reduzir as perdas térmicas, o que se traduz numa redução das necessidades de climatização. Construir o edifício com um bom aproveitamento da iluminação natural e a implementação de sistemas de aquecimento e arrefecimento passivos, permite uma redução dos gastos energéticos com a iluminação e climatização enquanto que a ventilação natural permite assegurar a boa qualidade do ar interior.

2.4.4.1 ILUMINAÇÃO NATURAL

A iluminação representa, no setor dos Serviços, cerca de 35% do consumo de energia (Figura 3), sendo, a par dos sistemas AVAC, o maior consumidor de energia nos edifícios. Assim, de modo a reduzir as necessidades de iluminação artificial, é necessário garantir, sempre que possível, iluminação natural nos edifícios, para obter uma boa eficiência energética.

A quantidade de luz natural que é possível captar pelos edifícios depende de fatores como a condição climatérica, a estação do ano, hora do dia ou orientação, inclinação, forma e dimensão da abertura.

Os objetivos da iluminação natural têm de considerar dois aspetos: a quantidade e a qualidade. Relativamente à quantidade, o objetivo é ter um aproveitamento moderado, nos meses de Verão, que permita iluminação dos espaços sem recurso ao uso de iluminação artificial e, nos meses de Inverno, ter o máximo aproveitamento na perspetiva de redução das necessidades de aquecimento. Quanto à qualidade deve-se evitar os contrastes de iluminação excessiva tentando manter uma uniformidade adequada e ao mesmo tempo minimizar encandeamentos e reflexos incómodos para os ocupantes. Estas duas premissas são difíceis de atingir uma vez que, o nível de iluminação é excessivo nas zonas junto à abertura (janelas ou aberturas zenitais), e insuficiente nas zonas mais distantes, provocando encandeamento excessivo e uma iluminação não uniforme [65].

Assim, podemos melhorar o aproveitamento da iluminação natural com a aplicação de sistemas de sombreamento e sistemas avançados de iluminação natural, contribuindo para a redução dos efeitos negativos criados pelas janelas ou outras aberturas. Enquanto o uso de sistemas de sombreamento reduz a admissão de luz natural para o interior da divisão, os sistemas avançados de iluminação natural proporcionam níveis mais elevados de luz natural e permitem redirecioná-la para zonas pouco iluminadas e zonas de trabalho, e simultaneamente, permitem o controlo da entrada de radiação solar direta, evitando a ocorrência de encandeamentos [65].

Atualmente são vários os sistemas que permitem aumentar a capacidade de captação de luz natural em edifícios. Existem várias formas de os classificar (Tabela 9), baseadas nas suas características geométricas, podendo ser caracterizados como sistemas refletores, elementos integrados em envidraçados ou sistemas de transporte de luz [65].

Tabela 9 - Tipos de sistemas avançados de iluminação natural, (Adaptado de [65]).

| SISTEMAS AVANÇADOS DE ILUMINAÇÃO NATURAL | |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>SISTEMAS REFLETORES</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Palas refletoras • Aberturas zenitais anidólicas • Estores anidólicos • Sistema de sombreamento anidólico reorientador de luz |
| <i>ELEMENTOS INTEGRADOS EM ENVIDRAÇADOS</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Vidros prismáticos • Estores de lamelas • <i>Laser-Cut Panel (LCP) e Channel Panel</i> • Vidro para reorientação de luz • Elementos óticos holográficos • Materiais isolantes transparentes - <i>Aerogels</i> |
| <i>SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Helióstatos • Túneis de luz • Fibras óticas • Tetos anidólicos |

2.4.4.2 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PASSIVO

Utilizar o Sol e os seus benefícios no desenho de um edifício é uma estratégia fundamental para criar um edifício sustentável.

As estratégias de aquecimento passivo vão utilizar a energia solar para fazer o aquecimento do edifício, contribuindo para o conforto interior, sem recorrer a sistemas ativos de climatização.

A implementação desta estratégia deve ter em conta as condições específicas do local, como a temperatura exterior, o vento e principalmente a radiação solar, uma vez que a captação da radiação é o principal fator para a eficiência da sua implementação.

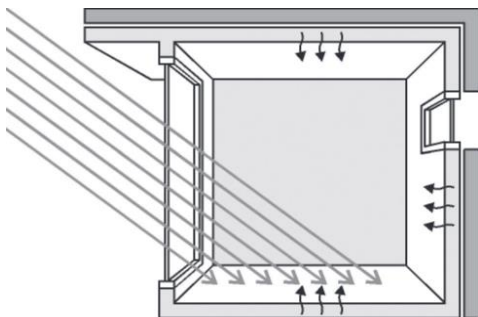
Tipicamente, em todos os sistemas solares passivos destinados ao aquecimento existem alguns aspetos a ter em conta:

- a captação da energia solar, por meio de envidraçados bem orientados, nomeadamente a sul, ou no quadrante sudeste-sudoeste (no hemisfério Norte);
- o armazenamento da energia captada em massa térmica, resultado da aplicação de materiais de construção com capacidade de armazenamento térmico como o betão e paredes de tijolo maciço. A massa térmica permite reduzir a amplitude térmica das temperaturas existentes no exterior e produzir temperaturas interiores mais estáveis;
- a natural e correta distribuição da energia armazenada para o espaço que se pretende aquecer, através de mecanismos de convecção natural, condução ou radiação.

Existem três tipos de sistemas genéricos para a implementação do Aquecimento Solar Passivo que podem ser classificados da seguinte forma:

1. Ganho Direto;
2. Ganho Indireto ou desfasado;
3. Ganho Isolado - Espaço Estufa ou Coletor de Ar.

No sistema de Ganhos Diretos (Figura 21), como a própria designação indica, é feito o aproveitamento da radiação solar direta sobre vãos envidraçados, bem orientados por forma a possibilitar a incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos), maximizando assim os ganhos térmicos para o aquecimento do interior.



ICP - Instituto das Comunicações de Portugal - Porto

Figura 21 - Sistema de Ganho Direto, (Adaptado de [46]).

Uma vez que o ar tem uma capacidade muito reduzida de absorver a energia solar, o espaço deverá ser constituído no seu interior por materiais compactos com capacidade de armazenamento térmico e preferencialmente com elevado poder de absorção de radiação (tons escuros, principalmente no pavimento, enquanto que as paredes poderão ser brancas de maneira a não prejudicar a distribuição da iluminação natural). Assim, durante o período diurno, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência da radiação para, no período noturno, libertar para o espaço. Os envidraçados são assim, um elemento fundamental para o aquecimento do espaço, pelo que se deverá tomar atenção ao seu dimensionamento, assim como ao sombreamento dos mesmos no Verão, de modo a evitar o sobreaquecimento em termos de

temperaturas interiores. De referir ainda a necessidade de isolamento noturno através de portadas e persianas, de modo a evitar perdas térmicas no período em que o aquecimento é mais necessário [46].

No sistema de Ganhos Indiretos, o aquecimento do interior do edifício é feito de modo mais lento, sendo que a massa térmica dos sistemas é interposta entre a superfície de ganho e o espaço a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente, sendo posteriormente transferida para o espaço. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação (ou não) do ar que for adotada.

Exemplos deste modo de aproveitamento da energia são as paredes de trombe (Figura 22) – parede maciça que absorve a energia solar que nela incida ao longo do dia, armazenando-a e irradiando calor para o interior do edifício no período da noite [46].



Casa Shäffer, Porto Santo (Com Paredes de Trombe)
Arqº. Günther Ludewi

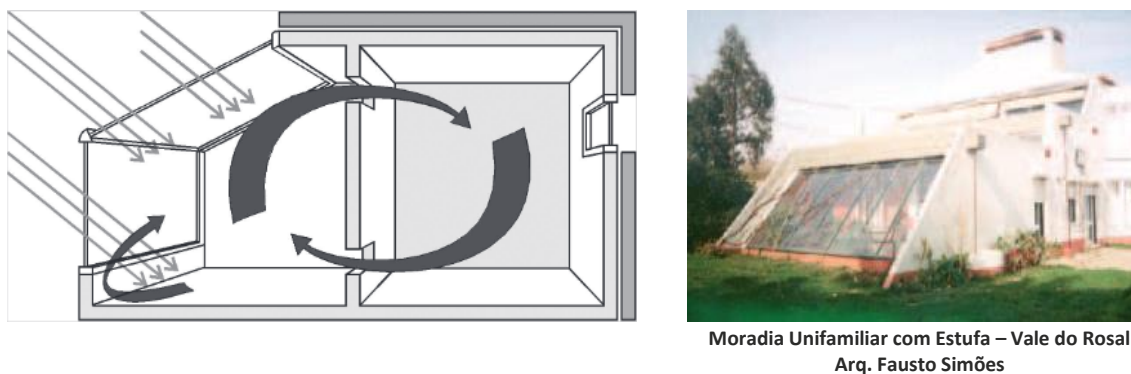
Figura 22 - Sistema de Ganho Indireto, Parede de Trombe, [46].

Neste tipo de sistemas, ocorre um desfasamento da onda de calor transmitida para o espaço e do ciclo da radiação solar. Os espaços onde estes sistemas se encontram podem beneficiar desse desfasamento e receber a energia absorvida durante o dia no final da tarde e início da noite, dependendo muito de cada edifício e da sua utilização. A gestão da transferência de energia é feita pelo próprio utilizador, usando para o efeito sistemas simples de ventilação, como o apresentado na

Figura 22, que consistem em duas aberturas entre o espaço e a zona quente [46].

Ao contrário dos sistemas de ganho direto, este sistema (a “parede de Trombe” em particular) não só previne em grande parte o sobreaquecimento do espaço, pelo controlo possível do sistema, como possibilita temperaturas estáveis em termos de conforto em dias de uma eventual fraca radiação.

Nos sistemas de Ganhos Isolados (estufas e coletores de ar) (Figura 23), combinam-se os princípios térmicos dos sistemas de ganhos diretos e indiretos. Aqui a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que atuam de forma independente numa zona isolada, normalmente denominada de “estufa”. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitam a circulação do ar [46].



Moradia Unifamiliar com Estufa – Vale do Rosal
Arq. Fausto Simões

Figura 23 - Sistema de Ganhos Isolados, [46].

Este sistema é particularmente interessante de ser utilizado em zonas com maior percentagem de dias com céu encoberto, uma vez que possibilita ganhos consideráveis provenientes da radiação difusa, pela grande superfície de envidraçados descoberta. De modo a evitar as perdas do próprio espaço da “estufa” deverão ser considerados mecanismos de isolamento noturno, à semelhança dos sistemas de ganhos diretos.

2.4.4.3 SISTEMAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO

À semelhança do referido para as estratégias de aquecimento passivo, também as estratégias de arrefecimento passivo não recorrem a meios ativos de climatização (com consumo de energia) para alcançar o conforto no interior.

No caso do arrefecimento (estação quente), pretende-se tirar partido de fontes frias que permitirão arrefecer o edifício. Uma fonte fria no Verão é o próprio solo, cujas temperaturas são sempre inferiores à temperatura do ar exterior, sendo uma excelente fonte de arrefecimento dos edifícios.

A orientação solar é também aqui um fator determinante para o desenvolvimento destas estratégias que se baseiam principalmente na ventilação natural e no controle da radiação solar direta das superfícies envidraçadas (quer sejam com recurso a elementos fixos – palas, por exemplo – ou dispositivos móveis – de que são exemplo os estores).

Encontramos ainda outros sistemas de arrefecimento, ainda que com menos utilização: o arrefecimento radiativo, tirando partido da diferença de temperatura radiativa entre a envolvente do edifício e a temperatura do “céu”; e o arrefecimento provocado pela evaporação de água.

Temos então vários processos que nos permitem executar os sistemas de arrefecimento passivo. São eles:

- Ventilação Natural;
- Arrefecimento evaporativo;
- Arrefecimento Radiativo;
- Arrefecimento pelo Solo

VENTILAÇÃO NATURAL

A circulação de ar é um processo de arrefecimento passivo, contribui significativamente para a diminuição da temperatura interior e ainda para a remoção do calor sensível armazenado na massa térmica. Tem também interferência em termos de conforto térmico, ao incentivar perdas de calor por convecção e evaporação nos ocupantes [46]. A ventilação natural é a forma mais elementar de ventilação, baseia-se em diferenças de pressão para mover o ar fresco através dos edifícios, fazendo uso da elevação natural do ar quente (Figura 24). As diferenças de pressão podem ser causadas pelo vento ou por diferenças de temperatura, o que configura dois tipos principais de ventilação passiva: a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé.

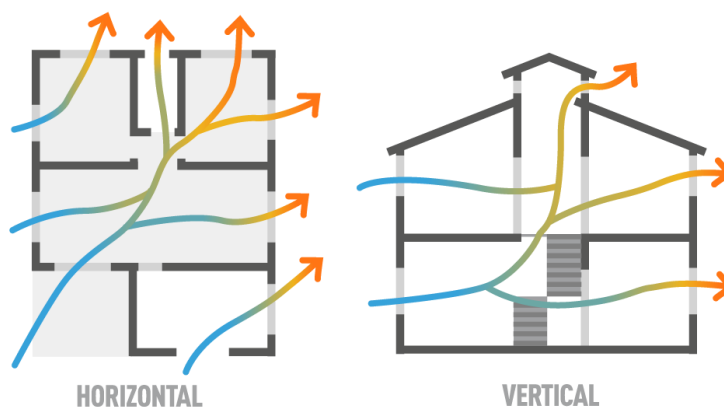


Figura 24 – Esquema exemplificativo de um sistema de arrefecimento passivo por ventilação natural.

Em países com clima temperado, como é o caso de Portugal, verificam-se amplitudes térmicas diárias significativas no período de Verão. Assim, o recurso à ventilação natural é particularmente importante e particularmente eficiente durante o período noturno, em consequência do decréscimo da temperatura do ar exterior. Também é possível utilizar a ventilação natural durante o dia em períodos nos quais a temperatura exterior é inferior à temperatura do edifício, por exemplo durante a manhã [46].

a) Ventilação cruzada

Na ventilação cruzada exploram-se os efeitos de pressão negativa e positiva que o vento exerce sobre a edificação. Para proporcionar uma boa ventilação natural é preciso posicionar as aberturas em zonas de pressão oposta, como podemos ver na Figura 25 .

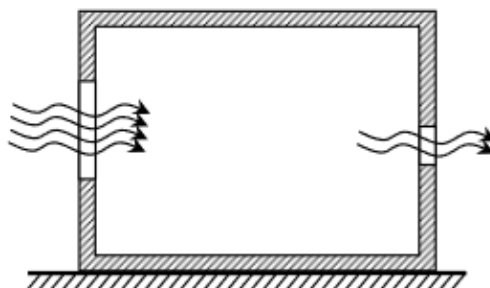


Figura 25 - Sistema de Ventilação cruzada.[66]

A ventilação cruzada promove a remoção do calor por acelerar as trocas por convecção e também contribui para a melhoria da sensação térmica dos ocupantes por elevar os níveis de evaporação.

b) Ventilação induzida (por estratificação)

O efeito da estratificação do ar nos edifícios pode produzir ventilação quando não existe deslocamento do ar exterior. Assim, o ar mais frio (ar fresco exterior introduzido no edifício por aberturas localizadas a um nível mais baixo), mais denso, exerce pressão positiva, enquanto que o ar mais quente, por tornar-se menos denso, exerce baixa pressão e tenderá a sair através de uma abertura na parte superior do espaço, como se pode ver no exemplo da Figura 26 [66].

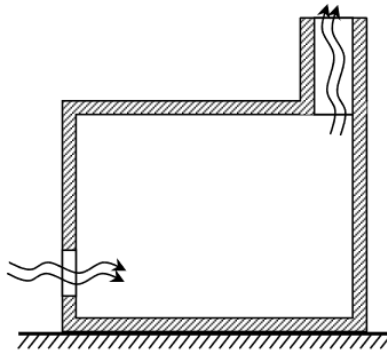


Figura 26 – Sistema de extração do ar por efeito chaminé, [66].

Este sistema tem o mesmo princípio de funcionamento das paredes de Trombe e das estufas, já anteriormente apresentadas. Para que funcione corretamente deve existir uma diferença de temperatura entre o ar quente que está na parte mais alta do espaço habitado e o ar exterior, pelo que o ar deverá ser introduzido desde a parte mais fresca do edifício, geralmente a fachada Norte [66]. Este sistema também pode ser chamado de efeito chaminé. No caso de a temperatura exterior ser alta, o que prejudica o processo de extração por efeito chaminé, uma forma de favorecer o movimento do ar interior por estratificação pode ser através do aquecimento do ar no desvão da cobertura, chamando-se neste caso de câmara solar [66].

c) Câmara solar ou chaminé solar

Este sistema (Figura 27), como o próprio nome indica, consiste em uma chaminé, cuja superfície deve ser cor escura e protegido com um vidro, de modo a absorver a radiação solar. O ar que esta dentro da chaminé é aquecido e conseqüentemente a sua densidade diminui produzindo um efeito de sucção nas aberturas inferiores que estão em contacto com o ambiente interior, fazendo assim a extração do ar interior. A chaminé deverá ser posicionada de modo a que possa absorver a maior quantidade de radiação solar durante o dia, sendo que a correta orientação do edifício e da chaminé em relação ao sol determinará a eficácia desta [66].

Este é um sistema que não cria uma ventilação muito intensa, sendo uma estratégia adequada para locais sem vento ou com ventos de baixa velocidade, onde o uso do

efeito chaminé pode gerar melhores resultados do que o uso da ventilação por ação direta dos ventos.

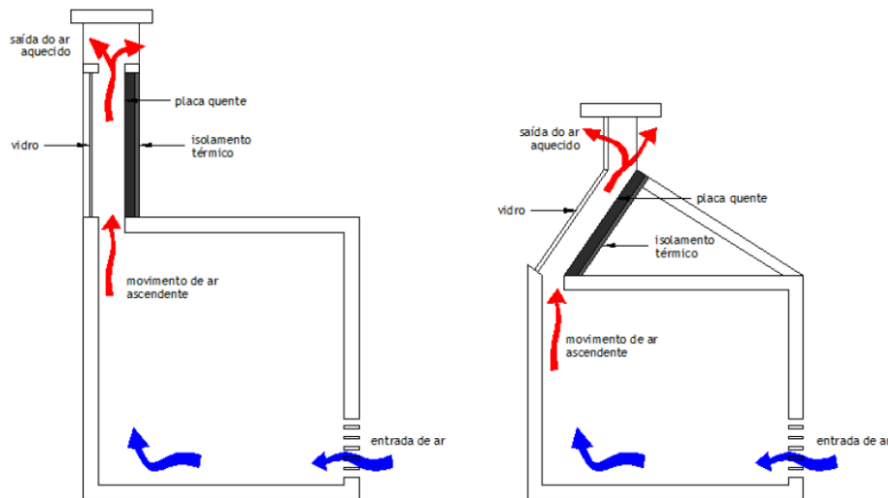


Figura 27 - Esquema de funcionamento de uma chaminé solar.

d) Aspirador estático

O aspirador estático (Figura 28) é outro dos sistemas para gerar movimento de ar no interior do espaço. Estes aspiradores produzem uma depressão no ar interior devido à sucção produzida por um dispositivo estático, situado na cobertura. Assim o vento ao atravessar este dispositivo vai criar o efeito Venturi, que permite a extração do ar quente interior, combinado com entrada do ar de renovação pela parte inferior do circuito. Para assegurar um bom funcionamento do sistema, este deverá estar exposto a velocidades de escoamento do vento baixas e constantes [66].

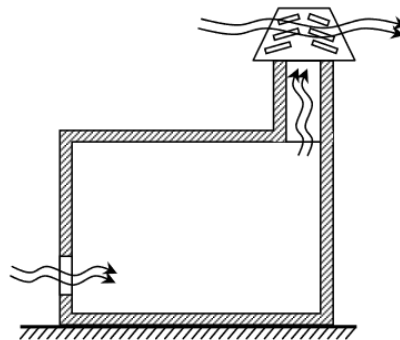


Figura 28 – Sistema de ventilação com aspirador estático[66].

Existe uma grande variedade de dispositivos aspiradores estáticos, tanto em termos de tamanho (o que permite a adaptação em vários tipos de cobertura), como em termos de formas. Estão também disponíveis aspiradores estáticos que incorporam outras tecnologias que tornam o sistema mais eficiente. Existem aspiradores aos quais é incorporada uma ventoinha na parte inferior do sistema, que é alimentada por um painel fotovoltaico existente no topo do aspirador, a qual força a entrada de ar fresco, ou a saída de ar de exaustão quando necessário, através de um sistema de controlo auxiliado por sensores de temperatura e de dióxido de carbono (CO₂). Existe também a possibilidade de estes incorporarem grelhas móveis que possibilitem o controlo dos fluxos de ventilação [67].

ARREFECIMENTO EVAPORATIVO

Genericamente, esta estratégia consiste na evaporação da água (mudança de fase da água do estado líquido para o estado de vapor), através da passagem de um fluxo de ar, provocando a redução da temperatura do ar, como podemos ver de forma esquematizada na Figura 29. Esta transferência de calor pode ser forçada (quando fornecemos o calor) ou induzida (quando criamos condições para que o produto retire calor do meio).

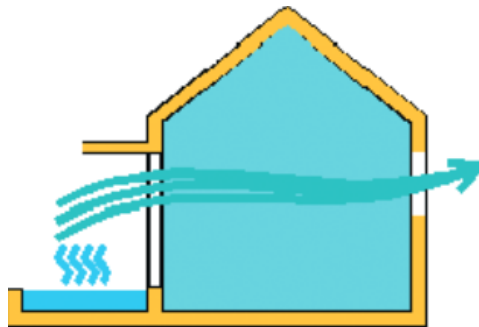


Figura 29 – Esquema representativo do arrefecimento evaporativo [46].

De uma forma simplificada este processo de arrefecimento, consiste na circulação do ar ao longo de uma superfície húmida; se a pressão parcial do vapor no ar for menor que a pressão parcial do vapor junto à superfície, haverá uma transferência de vapor da superfície para o ar, por difusão. Esta transferência de “massa” determina o arrefecimento da superfície húmida, uma vez que a mudança de fase (evaporação) da água consome calor. A evaporação consome calor sensível (calor que não causa uma mudança de estado físico, apenas de temperatura) e transforma-o em calor latente (calor que causa a mudança de estado físico). Enquanto a temperatura da superfície húmida for menor que a temperatura do ar haverá transferência de calor do ar para a superfície (absorção de calor sensível que posteriormente é convertido em calor latente), permitindo o prosseguimento do fenómeno de arrefecimento evaporativo. Trata-se de um processo adiabático, não requerendo nenhuma fonte de calor externa [68].

Quando o decréscimo é acompanhado de um aumento do conteúdo do vapor de água, trata-se de um arrefecimento evaporativo direto. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício.

Quando se promove o arrefecimento através da evaporação nas superfícies exteriores expostas à radiação solar ou ao ar quente do interior, está-se em presença de arrefecimento evaporativo indireto, assim designado por contribuir para uma diminuição da temperatura do ar interior sem o aumento do conteúdo de vapor de água [46].

ARREFECIMENTO RADIATIVO

O arrefecimento radiativo ocorre quando existe a emissão da radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício para o arrefecimento do mesmo (Figura 30). As perdas por radiação são constantes, e ocorrem de forma continua durante períodos diurnos e noturnos. No entanto é durante o período noturno que se sentem mais os efeitos devido à ausência de radiação solar direta [46].

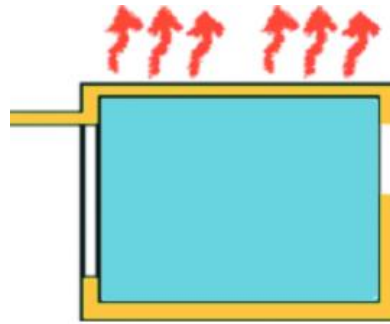


Figura 30 - Esquema representativo do arrefecimento radioativo [46].

Este tipo de sistema de arrefecimento geralmente é utilizado nas coberturas, devido à sua maior exposição à radiação solar, são os elementos que mais influenciam as trocas radiativas [46].

ARREFECIMENTO PELO SOLO

Tipicamente, no Verão, o solo apresenta temperaturas inferiores à temperatura exterior, podendo ser uma importante fonte fria, sendo que no período de Verão, permite a dissipação de calor, dissipação esta que pode ocorrer por processos diretos ou indiretos [46].

No arrefecimento por contacto direto com o solo, é utilizada a envolvente do edifício (paredes e pavimento e eventualmente cobertura), que quando ligados ao solo, permitem arrefecer o ar interior através de condução. No arrefecimento por contato indireto, a permuta de ar do interior do edifício com o solo é feita por condutas criadas para o efeito, como podemos ver na Figura 31 [46].

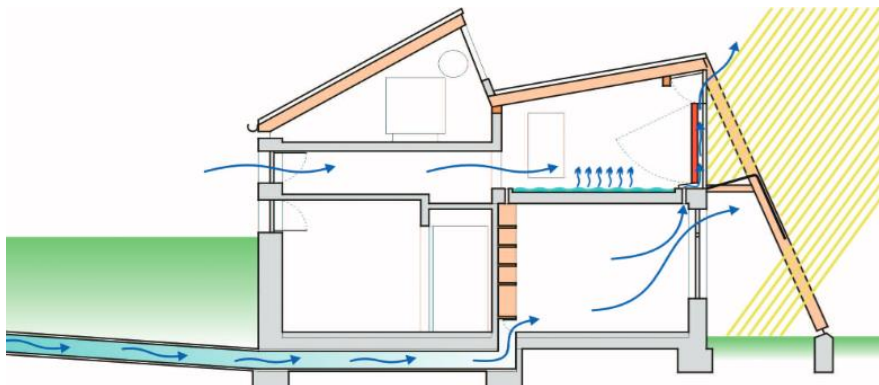


Figura 31 - Arrefecimento do interior através de tubos enterrados no solo.[46]

2.4.5 SOLUÇÕES ATIVAS

Entendem-se por soluções ativas as soluções ou mecanismos que, surgem como apoio aos sistemas passivos, e apontam à produção e uso da energia primária/renovável, que é transformada em energia elétrica ou energia térmica, tendo influência direta na redução das necessidades energéticas do edifício.

As soluções mais adequadas são aquelas que recorrem a fontes renováveis, incluindo solar, eólica, geotérmica e biomassa. No caso dos edifícios, os sistemas ativos mais utilizados são os painéis solares fotovoltaicos e os painéis solares térmicos.

2.4.5.1 EQUIPAMENTOS EFICIENTES

O consumo de energia de um edifício depende de diversos fatores, tais como a zona onde se situa, a qualidade de construção, nível de isolamento e também o tipo de equipamentos e do uso que lhe damos. Estima-se que, no setor dos Serviços, os equipamentos representam cerca de 25% do consumo de energia (Figura 3), sendo o terceiro maior consumidor a seguir aos sistemas AVAC e à Iluminação.

A utilização de equipamentos que consomem energia elétrica em atividades diárias é uma necessidade que se encontra enraizada no modo de vida atual, sendo utilizados em ambiente de trabalho, educação, lazer, tarefas domésticas, transportes, entre outros. Nestes equipamentos, a redução obtida individualmente não é muito grande em comparação com o consumo total do edifício, mas se considerarmos a quantidade total de equipamentos normalmente existentes num edifício e o número total de horas de funcionamento de cada equipamento, constatamos que a potencial redução dos consumos já é significativa.

A Diretiva Europeia que regulamenta a etiquetagem energética é a Diretiva n.º 2010/30/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 “relativa à indicação do consumo de energia e de outros recursos por parte dos produtos relacionados com a energia, por meio de rotulagem e outras indicações uniformes relativas aos produtos” [9], transposta para o direito Português através do Decreto-Lei n.º 63/2011 de 9 de maio, que sofreu nova atualização entrando em vigor a partir de 1 de agosto de 2017 na forma de Regulamento da União Europeia 2017/1369 [69].

A etiqueta energética é uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, que permite aos consumidores, aquando da aquisição de novos produtos consumidores de energia, ou relacionados com energia, escolher produtos energeticamente eficientes. Pretende apresentar métricas de comparação de fácil compreensão, para que seja possível ao consumidor comparar o desempenho energético de produtos da mesma família, motivando a escolha de produtos que consumam menos energia e que assim implicam um menor esforço financeiro na sua utilização [70].

A escala de eficiência energética, para a maior parte dos casos apresenta tipicamente sete classes, entre A e G, como mostra a Figura 32. No entanto, num segundo momento,

após a etiqueta energética desse produto estar em vigor há algum tempo (tipicamente dois anos), são introduzidas novas classes energéticas para motivar os fabricantes a desenvolver soluções mais eficientes eliminando as classes inferiores, entre E e G e introduzindo novas classes no topo da classificação, A+, A++ e A+++ [70].



Figura 32 – Escala de eficiência energética, [70].

Importa realçar que a diferença de eficiência entre escalas não é linear e varia com cada categoria de produto. As diferenças de eficiência nas classes A podem ser muito significativas, com produtos de classe A+++ a consumir até menos 30% que um produto de classe A, ou até mesmo 60%, no caso dos aparelhos de refrigeração [70].

2.4.5.2 ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

A iluminação representa, no setor dos Serviços, cerca de 35% do consumo de energia (Figura 3), sendo a par dos sistemas AVAC o maior consumidor de energia nos edifícios. É importante realçar que no Verão os gastos associados à iluminação são mais significativos, pois a luz solar que não é convertida em eletricidade é desperdiçada sob forma de calor, que depois os sistemas de arrefecimento têm que remover. Assim, para se atingir o objetivo nZEB, é necessário a aplicação de iluminação artificial eficiente, aliada a uma conceção otimizada em termos de iluminação natural.

São cinco os principais tipos de lâmpadas para uso doméstico: lâmpadas fluorescentes compactas, lâmpadas fluorescentes tubulares, díodos emissores de luz (LED), lâmpadas de halógeno e lâmpadas incandescentes (estas já não se comercializam na Europa).

Escolher a iluminação correta para cada divisão é um fator determinante para conseguir poupar entre 15 a 20% na fatura da eletricidade, de acordo com a ADENE – Agência para a Energia. Apostar em lâmpadas mais economizadoras, como os LED ou fluorescentes compactas, tem um custo acrescido no momento da aquisição, porém permite níveis de poupança interessantes ao longo dos anos, quando comparadas com os consumos das lâmpadas incandescentes.

Tendo em vista ajudar os consumidores a escolher as lâmpadas que melhor se adequem às suas necessidades, a legislação obriga os fabricantes a colocarem nas embalagens

informações específicas, tais como o tempo de vida das lâmpadas (em horas), o número de ciclos de ligar/desligar das lâmpadas, a temperatura cromática, o tempo de aquecimento e se é compatível com regulador de intensidade da luz.

À semelhança de outros equipamentos usados em edifícios, as lâmpadas também têm uma etiqueta energética, onde se encontra a informação acerca de eficiência energética e o consumo de energia, como podemos ver pelo exemplo da Figura 33.



Figura 33 - Etiqueta energética de lâmpadas elétricas [70].

A Tabela 10 apresenta a comparação dos vários tipos de lâmpadas em função do brilho e da potência.

Tabela 10 – Comparação da potência equivalente das diferentes lâmpadas em função do brilho.

| Brilho [Lumens] | Incandescentes [W] | Halogéneas [W] | LFC [W] | LED [W] |
|--------------------|-----------------------|-------------------|------------|------------|
| 90 | 12-15 | - | - | 1 |
| 270 | 25 | 18 | 5-6 | 3 |
| 360 | 30 | 25 | 7-9 | 4 |
| 450 | 40 | 35 | 9-13 | 6-9 |
| 980 | 60 | 42 | 13-15 | 8-12 |
| 1100 | 75 | - | 18-23 | 13-15 |
| 1600 | 100 | 70 | 25-30 | 16-20 |
| 2600 | 150 | - | 30-52 | 25-28 |

A Tabela 11 apresenta uma avaliação do tempo de vida útil dos vários tipos de lâmpadas.

Tabela 11 – Tempo de vida útil de diferentes tipos de lâmpadas.

| Tipo de lâmpada | Tempo de vida útil (h) |
|----------------------------------------|------------------------|
| Lâmpadas incandescentes | 1000 |
| Lâmpadas de halógeno | 5000 |
| Lâmpadas fluorescente tubulares | 6000 – 15000 |
| Lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) | 6000 – 15000 |
| Díodos emissores de Luz (LED) | 20000 – 45000 |

TECNOLOGIA PARA OTIMIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O consumo de energia elétrica pode ser reduzido significativamente com a correta aplicação de sistemas automáticos de comando da iluminação artificial. As estratégias de controlo automático de luminosidade e/ou potência, representam uma poupança de energia considerável, uma vez que permitem não só o controlo adaptado mediante a iluminação natural disponível, como também permite colmatar falhas humanas, no caso de o utilizador se esquecer de desligar as luzes quando deixa o espaço.

De seguida serão apresentadas algumas das soluções e tecnologias existentes.

a) Sensores de movimento

Este tipo de sensor capta a presença de pessoas através da reflexão de raios de luz infravermelha, e só é acionado quando deteta movimento no seu raio de ação, ligando automaticamente as luzes, desligando-as posteriormente através de um temporizador que pode ser regulado manualmente.

Esta tecnologia é cada vez mais utilizada para minimizar o desperdício de energia nos sistemas de iluminação, sobretudo devido ao seu baixo custo, no entanto, é apenas aconselhável para locais onde não é necessário manter as luzes ligadas o tempo todo (locais de passagem ou curta permanência), como corredores, casas de banho ou similares.

Existe uma vasta gama de sensores que podem ser aplicados em diferentes sítios (teto, parede, interior, exterior e até mesmo embutidos na própria lâmpada), com vários ângulos de ação e alcances diferentes (Figura 34).



Figura 34 – Exemplos de sensores de movimento.

b) Sensores de iluminação

Este tipo de sensor funciona através de fotocélulas, o equipamento liga a lâmpada quando identifica que o ambiente está com baixo nível de luz e desliga-a automaticamente quando está com nível de luz suficiente. Existem ainda alguns modelos programáveis, permitindo desligar a lâmpada depois de um certo tempo após o seu acionamento.

É recomendável o uso desta tecnologia em locais exteriores onde é necessária iluminação durante a noite, como placas publicitárias, postes de luz ou fachadas. Devido ao seu elevado tempo de funcionamento, é recomendado o seu uso com lâmpadas LED, e em último caso, com lâmpadas frias (conhecidas como económicas).

c) *Dimmer*

O *dimmer*, também conhecido como variador de luminosidade, é um dispositivo que permite regular a intensidade do brilho da iluminação.

Os reguladores de iluminação permitem ajustar a intensidade da luz em função daquilo que o utilizador pretende, podendo diminuir assim o consumo elétrico das lâmpadas e consequentemente aumentar a vida útil destas. Apesar de ser bastante eficiente, este não pode ser aplicado em lâmpadas fluorescentes. A Figura 35 mostra alguns exemplos de interruptores com estes dispositivos.



Figura 35 – Exemplos de interruptores com *dimmer*.

2.4.5.3 CAPTAÇÃO E FORNECIMENTO DE ENERGIA

Como já foi anteriormente mencionado, uma das formas de alcançar os nZEB, passa pela utilização de energia produzida no local, energias *On-Site*, ou caso necessário, provenientes de fontes renováveis nas proximidades, a chamada energia *Off-Site*, que permita satisfazer as necessidades energéticas do edifício, numa base temporal, normalmente anual.

Durante a fase de projeto, o dimensionamento dos equipamentos de produção de energia deve ser feito tendo em conta as necessidades energéticas do edifício durante a estação de aquecimento. Assim durante o Verão, os sistemas vão estar sobredimensionados, o que leva a uma produção de energia em excesso, que poderá vir

a ser armazenada ou utilizada em edifícios vizinhos ou sistemas de iluminação no espaço adjacente.

Quando pensamos em sistemas para produção de energia de fontes renováveis, os sistemas que se perfilam com melhores características para aplicação direta no local ou nas proximidades são os solares (térmicos e fotovoltaicos), sistemas a biomassa e os de energia geotérmica. Além destes existem outros, mas geralmente não estão sempre disponíveis ou não são economicamente viáveis (mini-hídricas, energia das ondas, energia das marés, sistemas solares concentradores, etc.).

Na Tabela 12 encontram-se, de forma resumida, as soluções disponíveis para aplicação e fornecimento de energia aos edifícios nZEB.

Tabela 12 – Soluções de aplicação e fornecimento de energia aos edifícios nZEB (Adaptado de [71]).

| Opção | Opções de Fornecimento de energia aos nZEB | Exemplos |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Energia On-Site | | |
| 1 | Usar FER disponíveis no próprio edifício, conectadas à rede de eletricidade ou sistema de distribuição de água quente/refrigerada. | Painéis fotovoltaicos (PV), coletores térmicos e ação do vento no edifício. |
| 2 | Usar FER disponíveis no local, conectadas à rede de eletricidade ou sistema de distribuição de água quente/refrigerada. | Painéis fotovoltaicos, coletores térmicos, sistema hidroelétrico de baixo impacto e ação do vento, mas não no próprio edifício. |
| Energia Off-Site | | |
| 3 | Usar FER disponíveis fora do local para gerar energia no local, conectadas à rede de eletricidade ou sistema de distribuição de água quente/refrigerada. | Biomassa, <i>pellets</i> de madeira e biodiesel que podem vir de fora do local, ou resíduos de processos produzidos no local que podem ser usados para gerar eletricidade e calor |
| 4 | Comprar energia renovável fora do local. | Energia eólica, PV, hidroelétrica e outras fontes de energias verdes. |

Os sistemas de cogeração (processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade) e trigeração (cogeração onde uma parte do calor produzido é usado na produção de frio utilizando um sistema de absorção), devem também ser considerados, pois favorecem a produção descentralizada, possibilitando um funcionamento da instalação sem interrupções causadas por falhas da rede e, permitem uma redução considerável das perdas de Transporte e Distribuição da eletricidade. Ainda que atualmente estes sistemas dependam quase exclusivamente da utilização de gás natural, que não se enquadra como energia renovável, também podem ter aplicações na área dos recursos renováveis, se houver um aproveitamento dos biocombustíveis sólidos como a Biomassa (resíduos de cortiça ou madeira) e gasosos (com origem industrial ou em aterros sanitários) como fontes de energia.

De momento existem outras tecnologias disponíveis, que podem também ser implementadas, como é o caso dos coletores híbridos fotovoltaico-térmicos, PV/T (*Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector*), possuem um módulo fotovoltaico integrado, composto também por uma placa absorvente com os tubos, uma cobertura de vidro e um isolamento, permitindo a conversão simultânea de radiação solar em eletricidade e calor.

“A ideia é que os particulares possam instalar sistemas de produção de eletricidade a partir de fontes de energia renovável, usando a eletricidade produzida para seu autoconsumo e vendendo o excedente para a rede pública. Podem ser instalações solares fotovoltaicas, eólicas, hídricas, caldeiras a biomassa (com cogeração), pilhas de combustível com base em hidrogénio (desde que este seja produzido através de fontes renováveis) ou combinações das mesmas fontes.”[42].

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro, estabelece o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, destinada ao autoconsumo na instalação de utilização associada à respetiva unidade produtora, com ou sem ligação à rede elétrica pública, baseada em tecnologias de produção renováveis ou não renováveis, designadas por «Unidades de Produção para Autoconsumo» (UPAC). O referido decreto-lei estabelece ainda o regime jurídico aplicável à produção de eletricidade, vendida na sua totalidade à rede elétrica de serviço público (RESP), por intermédio de instalações de pequena potência, a partir de recursos renováveis, designadas por «Unidades de Pequena Produção» (UPP) [72].

ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia solar, em Portugal, tem uma disponibilidade considerável, sendo mesmo dos países da Europa com melhores condições para aproveitamento deste recurso. Portugal dispõe de um número médio de 2200 a 3000 horas de sol por ano no continente e entre 1700 e 2200 horas, respetivamente nos Açores e Madeira (Figura 36) [73].

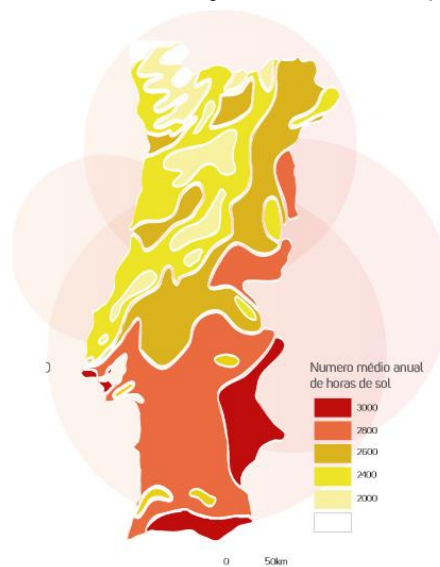


Figura 36 – Número médio anual de horas de sol em Portugal.

Tal como vimos no Capítulo 2.2, em Portugal, desde 2006 que o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (DL 80/2006) impõe que todos os edifícios novos devam ser projetados prevendo a utilização de painéis solares térmicos para a produção de água quente sanitária, sempre que o edifício apresentar boas condições de captação de radiação solar (boa exposição solar) [42].

Um Sistema Solar térmico é uma instalação que permite utilizar a fonte “inesgotável” de energia natural que é o Sol, para aquecimento de águas sanitárias ou para a climatização do ambiente interior. A instalação de um sistema solar térmico devidamente dimensionado, pode reduzir até 70% das necessidades energéticas para produção de água quente, em uso doméstico [42].

Estima-se que 94% dos novos edifícios construídos em Portugal têm coletores solares térmicos instalados [73].

De forma resumida, como podemos observar na Figura 37, o princípio de funcionamento do sistema solar térmico é bastante simples: a radiação solar que incide sobre a cobertura de vidro, que compõe a parte superior do painel solar, transfere-se sob a forma de calor para o fluido circulante no interior dos tubos que constituem o painel. Esse fluido após sofrer o aquecimento, circula em circuito fechado e transfere o calor através da serpentina do depósito para a água aí acumulada, aquecendo-a. A circulação do fluido é gerida e controlada pelo regulador solar e pelo grupo de circulação, em função das temperaturas registadas na medição.

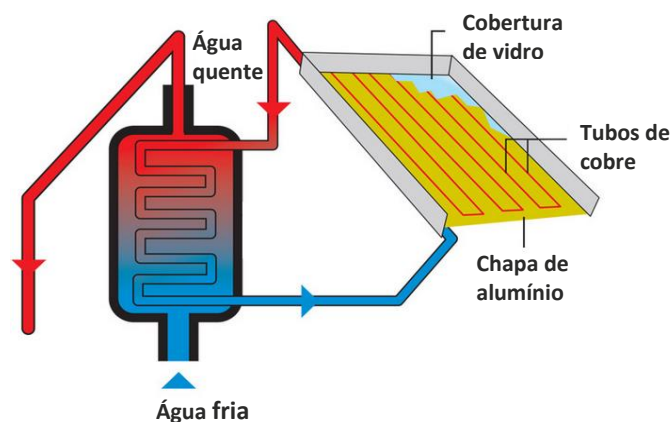


Figura 37 - Esquema básico de uma instalação solar térmica.

Os coletores são os elementos centrais das instalações de energia solar térmica, são eles que captam a radiação solar e a convertem em energia térmica para aquecimento.

Podemos destacar dois tipos de coletores solares térmicos usados em sistemas de aquecimento solar: coletores planos e de tubos de vácuo.

A principal característica do coletor plano é a superfície negra do absorvedor que é orientada ao sol, desenhada para que possa absorver o máximo de radiação e reflita apenas uma pequena quantidade de energia. A energia absorvida é transferida para o fluido portador de calor que circula nos tubos sob a superfície do absorvedor. Estes são indicados para sistemas de baixa temperatura: água quente ou apoio ao aquecimento do pavimento radiante e em relação aos demais apresentam menores custos com a

aquisição e manutenção/reparação.

O princípio de funcionamento do coletor de tubos de vácuo é o mesmo dos coletores planos. No entanto, ao contrário dos coletores planos, nos coletores de tubos de vácuo, os tubos metálicos do sistema anterior são substituídos por tubos de vidro, o que anula quase por completo as perdas de calor. Além disso, ainda é montado um espelho na parte inferior de cada tubo, para concentrar o sol no tubo absorvedor.

Tudo somado, os coletores de tubos de vácuo apresentam maior eficiência energética, conseguem bons rendimentos mesmo com menos sol e luz difusa, necessitando de menos área de trabalho para a mesma produção. Produzem temperaturas mais elevadas e podem ser ligados a sistemas de aquecimento de alta temperatura.

Dois dos tipos principais de sistemas solares térmicos, são o sistema de circulação natural, também conhecido como termosifão (Figura 38) e o sistema de circulação forçada (Figura 39) [74].



Figura 38 – Esquema de funcionamento de um sistema de circulação natural ou termosifão [74].

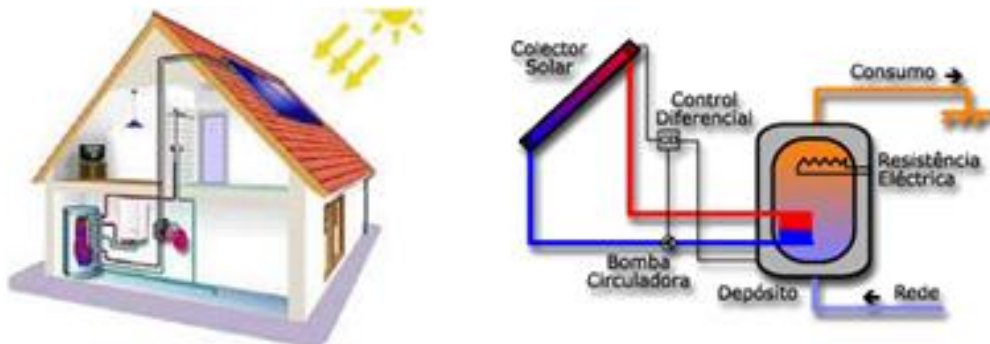


Figura 39 - Esquema de funcionamento de um sistema de circulação forçada [74].

Nos sistemas de termosifão, o coletor solar tem acoplado a si um depósito, sendo apenas necessário fazer a ligação da água fria ao depósito e depois do depósito à rede de água quente (e uma ligação elétrica, no caso de ser necessário incorporar resistência elétrica para apoio). A circulação faz-se por convecção natural, o fluido térmico aquece tornando-se menos denso, e sobe do coletor para o acumulador, arrefece, e desce novamente para o coletor. Este sistema funciona de forma contínua, sempre que há radiação solar disponível e a temperatura no coletor for superior à do acumulador [74]. No sistema de circulação forçada o coletor fica colocado na cobertura, sendo necessário colocar o acumulador noutra local, geralmente numa divisão interior do edifício. Dadas

as circunstâncias, é necessário instalar uma tubagem de ida e retorno desde o depósito até ao coletor e do depósito à rede de água quente do edifício. A circulação do fluido térmico faz-se através duma bomba, comandada pelo controlador diferencial e pelo grupo de circulação em função das temperaturas medidas, que força o seu transporte entre os coletores e o acumulador [74].

ARREFECIMENTO SOLAR TÉRMICO

Como já fizemos referência em capítulos anteriores, a par da iluminação e dos equipamentos, os sistemas AVAC são os maiores consumidores de energia nos edifícios. As elevadas temperaturas no verão, e a necessidade de melhorar o conforto térmico dos edifícios leva a uma procura cada vez maior de soluções de climatização eficientes. Embora se verifique uma tendência para adotar soluções passivas nos novos edifícios, como a ventilação natural, a utilização de vidros de baixa emissividade ou a valorização do sombreamento exterior, na maior parte dos casos continuamos a necessitar de sistemas artificiais de climatização.

Nesta linha de pensamento, o arrefecimento solar, é uma solução interessante de se considerar, uma vez que as necessidades de arrefecimento coincidem com o pico de produção de energia: durante o verão temos ótima radiação solar e é também quando a necessidade de refrigeração é a mais alta. Além do mais, é uma tecnologia que usa fluidos de refrigeração inofensivos (geralmente água) e necessita de menos energia primária que os sistemas convencionais [75].

O modo de funcionamento utilizado no arrefecimento solar térmico, representado na Figura 40, utiliza um sistema de captação da radiação solar (coletor) e a energia térmica é transformada como fonte de calor indireta para uma máquina de geração de frio que, por sua vez, promove a climatização do ar interior do edifício, através da distribuição de ar (quente ou frio) ou de água (refrigerada ou aquecida), para as unidades terminais como por exemplo as unidades de tratamento de ar (UTAs) ou ventiloconvetores [76].

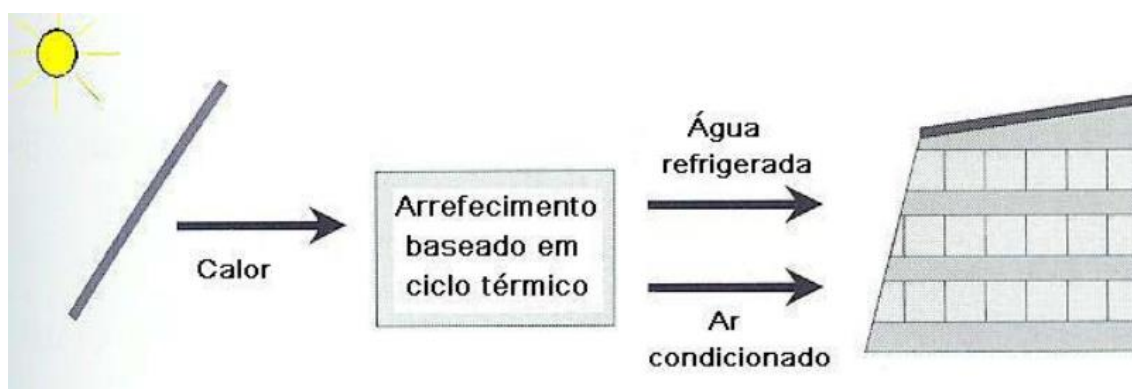


Figura 40 – Representação esquemática do sistema de arrefecimento solar [76].

A escolha do coletor vai depender do tipo de aplicação, sendo os coletores planos simples uma solução viável, no caso de se pretender um pequeno arrefecimento do espaço. Já para produção de gelo, é necessário que o sistema opere com temperaturas mais elevadas, é recomendado, por exemplo, o uso de coletores com espelhos concentradores.

A eficiência energética e económica dos sistemas de arrefecimento solar depende da eficiência dos vários componentes que o constituem, mas também da interação que é feita entre eles. A escolha da tecnologia de climatização vai ser influenciada por parâmetros como a carga térmica do edifício e a taxa de renovação de ar necessária. Se a taxa de renovação de ar for suficiente para cobrir as cargas térmicas, pode não haver necessidade de *chiller* térmico. O tipo de edifício (habitação ou comércio e serviços), a evolução da carga, o local, entre outros, são fatores determinantes para o melhoramento do sistema. Por último, é necessário um dimensionamento criterioso de cada componente para garantir a subsistência do sistema.

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As tecnologias de captação de energia solar, têm a capacidade de converter a energia térmica em energia elétrica, por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de energia fotovoltaica (PV) ou concentração solar.

A energia solar fotovoltaica é uma das mais promissoras fontes de energia renováveis, e também uma das mais utilizadas nos edifícios. O princípio de funcionamento do sistema solar fotovoltaico, como podemos observar de forma resumida na Figura 41, é bastante simples.

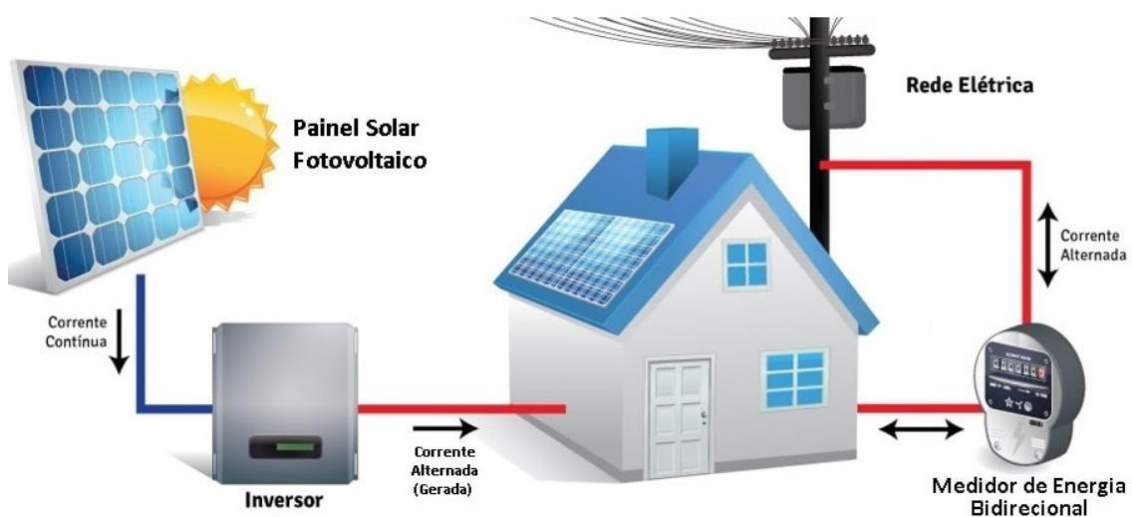


Figura 41 – Esquema de funcionamento da energia solar fotovoltaica.

Geralmente procede-se à instalação de sistemas PV, nas coberturas ou fachadas dos edifícios: os painéis são constituídos por módulos solares fotovoltaicos (conjunto de células fotovoltaicas - pequenos dispositivos que podem converter luz solar em

eletricidade). A energia elétrica gerada pelos PV, é em corrente contínua (CC), podendo ser armazenada em baterias (sistemas isolados com armazenamento) e/ou convertida a corrente alternada (CA). É necessário o uso de inversores de corrente CC/CA, para que a corrente gerada esteja disponível para injetar na rede ou ser utilizada pelos equipamentos; no caso de uso de baterias é necessário a utilização de reguladores de carga para impedir a sobrecarga das mesmas. É também necessário o uso de um contador, que em sistemas ligados à rede tem de ser bidimensional, para contabilizar a energia produzida e a energia recebida da rede elétrica. Em sistemas não ligados à rede, este componente permite contabilizar a produção de energia entregue ao edifício [42],[77].

As tecnologias das células fotovoltaicas podem dividir-se em três gerações, da seguinte forma: primeira geração (silício mono e policristalinos), segunda geração (silício amorfo e filmes finos) e terceira geração (múltiplas junções) [78].

Na primeira geração, encontramos as células que utilizam a tecnologia de silício cristalino (representam cerca de 85 a 90% do mercado), podem estas ser divididas em dois tipos, como podemos ver na Figura 42: silício monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si). As células de silício monocristalino apresentam uma eficiência entre os 13 e os 17%, enquanto que nas células de silício policristalino a eficiência encontra-se entre os 11 e 14%. Apesar das primeiras apresentarem uma eficiência mais elevada, é necessário que o silício tenha um elevado grau de pureza (da ordem de 99,99%), o que torna o processo de produção do silício monocristalino mais dispendioso [78].

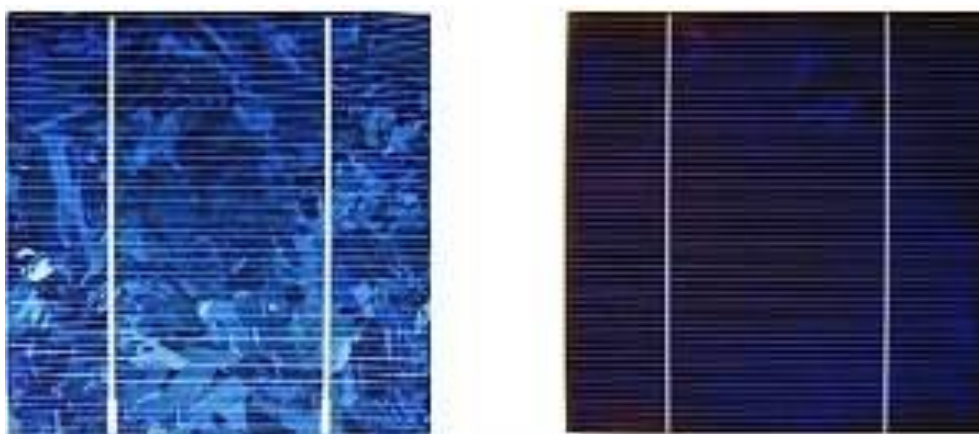


Figura 42 – Células de silício cristalino: silício policristalino à esquerda e monocristalino à direita.

As células de segunda geração, foram desenvolvidas para otimizar a redução dos custos de produção. Apareceram então os chamados filmes finos, sendo os materiais usados neste tipo de células o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre gálio e índio (CIS e CIGS), o telureto de cádmio (CdTe) e o arsenieto de gálio (GaAs). A eficiência deste tipo de células ronda os 7% para os três primeiros tipos atrás referidos, e os 30% para as células de arsenieto de gálio (este tipo de células é utilizado quase exclusivamente em aplicações espaciais devido ao seu custo elevado). Algumas das vantagens desta

tecnologia são, a menor quantidade de material e energia gasta no seu fabrico que se traduz num preço mais baixo, a menor perda de eficiência a altas temperaturas, o melhor desempenho em condições de baixa radiação e de radiação difusa e a menor sensibilidade aos sombreamentos devido à sua geometria (células longas e estreitas). Devido à tecnologia de filmes finos, têm múltiplas aplicações arquitetónicas, apresentam uma estética mais atraente e podem substituir materiais utilizados na construção civil (telhados, fachadas, etc.) [78].

As células de terceira geração surgiram com o intuito de melhorar as duas primeiras gerações, através de uma combinação de redução de custos, aumento da eficiência energética, estética aprimorada e oportunidade de integração de produtos. As altas eficiências são atingidas utilizando células fotovoltaicas com camadas múltiplas, com aumento da concentração dos componentes, para absorverem também na região espectral de infravermelho, além disto, uma outra opção utilizada é concentrar a luz solar usando espelhos e lentes. Estão incluídas nesta geração as tecnologias das células híbridas (HIT – *Heterojunction with Intrinsic Thin layer*) e orgânicas. Estas células de terceira geração embora ainda careçam de eficiência de conversão exibem grande potencial e diversas vantagens, entre as quais, baixo custo sobre grandes áreas, possível semi-transparência, flexibilidade mecânica e baixo peso bem como as múltiplas possibilidades de integração nos edifícios, conhecidas como BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) [78].

A aplicação de sistemas PV apresenta inúmeras vantagens, com por exemplo, a quase total ausência de poluição, não produz cheiros ou ruídos, têm baixa ou nenhuma manutenção, e os módulos têm um tempo de vida elevado. No entanto ainda apresentam algumas limitações, sendo que, os dispositivos fotovoltaicos apresentam baixos rendimentos e os custos de produção dos painéis são elevados. Ainda assim, é expectável que os constantes desenvolvimentos tecnológicos venham eliminar estes fatores menos positivos.

ENERGIA EÓLICA

Podemos definir a energia eólica como a fonte renovável de energia que utiliza o vento para gerar eletricidade [42].

A transformação da energia dos ventos (energia cinética) em energia elétrica é realizada através de turbinas eólicas (ou aerogeradores). Os aerogeradores apresentam pás que se movimentam com a força dos ventos, transformando energia cinética do vento em energia mecânica e em seguida em energia elétrica.

A configuração da turbina influenciará diretamente o rendimento global do sistema. As turbinas eólicas podem ser classificadas segundo orientação do seu eixo (Figura 43): eixo vertical e eixo horizontal. Nas turbinas de eixo vertical a energia do vento é aproveitada sem que seja necessário mudar a posição do rotor, uma vez que, não giram seguindo a direção do vento, sendo as mais indicadas para espaços urbanos. Por outro lado, temos

as turbinas eólicas de eixo horizontal, que são o tipo de turbinas mais comuns. Estas turbinas têm um funcionamento parecido com o de moinhos de vento, com perfil aerodinâmico, e geralmente apresentam três pás. Este modelo precisa de ser instalado em locais mais altos e ter comprimento longo, podendo gerar até 5 megawatts de energia.

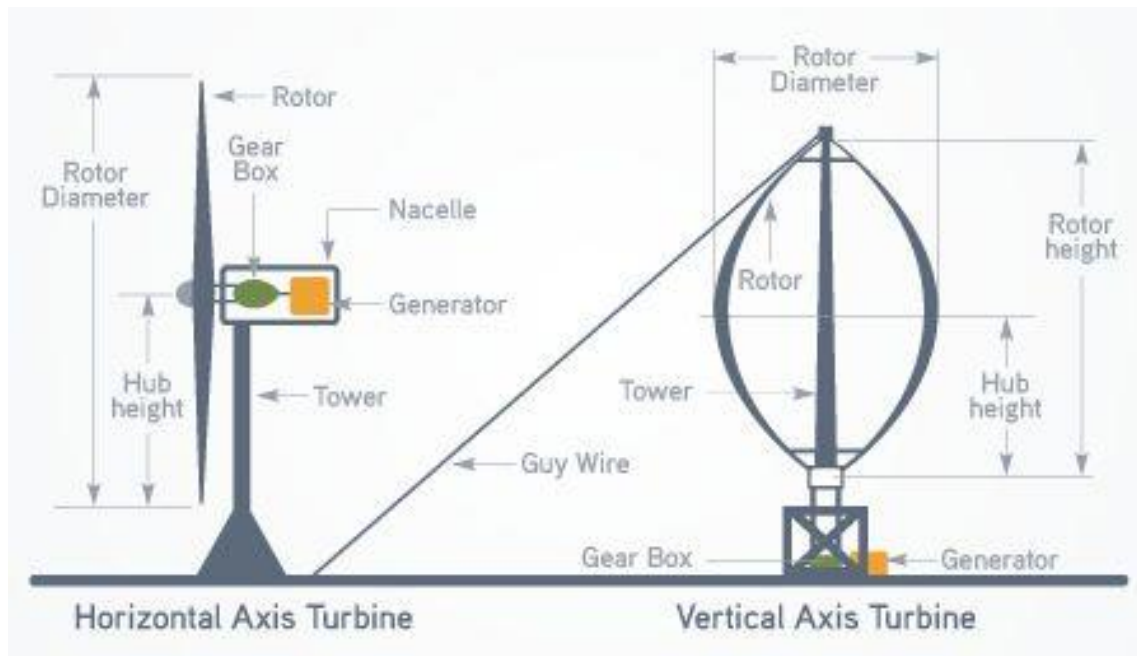


Figura 43 – Representação dos dois tipos de configuração das turbinas eólicas.

Geralmente um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas [79]:

- **Sistemas isolados:** sistemas que se encontram privados de energia elétrica proveniente da rede, geralmente de pequeno porte. Utilizam alguma forma de armazenamento de energia (por exemplo baterias), que permitem consumir energia quando o aerogerador parar;
- **Sistemas híbridos:** sistemas que produzem energia elétrica em simultâneo com outra fonte. Podem ser compostos por turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos, geradores elétricos de diesel/biodiesel, entre outras fontes. Nestes sistemas temos o mesmo princípio de funcionamento dos sistemas isolados;
- **Sistemas interligados à rede:** sistemas que fornecem diretamente à rede, a totalidade da energia por eles produzida. Utilizam um grande número de aerogeradores, como nos parques eólicos.

Atualmente, a energia eólica é uma das energias renováveis mais utilizadas. Para além dos grandes parques eólicos, as soluções eólicas podem também ser aplicadas nos edifícios, geralmente sistemas isolados ou híbridos (eólico/fotovoltaico) como as microturbinas. Neste caso, como o sistema solar não funciona durante a noite, o sistema eólico entra em funcionamento, possibilitando a obtenção de energia 24 horas por dia.

ENERGIA GEOTÉRMICA

Uma das fontes de energia renovável mais próxima dos edifícios é o solo. A baixas profundidades, a temperatura não depende dos agentes atmosféricos, permanecendo estável todo o ano. Estima-se que no nosso país, logo a pequena profundidade de cerca de 1 metro a temperatura se encontra entre 16 e 19 °C, aumentando cerca de 1 °C a cada 30 m [80].

A energia geotérmica ou energia geotermal é obtida através do calor presente no núcleo da Terra. O processo de aproveitamento dessa energia é feito por meio de perfurações no solo, aproveitando o calor como matéria fundamental para produção de eletricidade, para produção de AQS, climatização dos espaços, etc.

Devido a necessidade de adquirir energia elétrica de uma forma mais limpa e em quantidades cada vez maiores, foram desenvolvidos modos de usufruir desse calor para a geração de eletricidade. Há, portanto, três formas de utilizar a energia geotérmica [81]:

- **Utilização direta:** reservatórios geotérmicos de temperaturas baixas moderadas (20-150 °C) que podem ser aproveitadas diretamente para fornecer calor para a indústria, aquecimento ambiente, termas e outros aproveitamentos comerciais;
- **Bombas de calor geotérmicas (BCG):** Aproveitam as diferenças de temperatura entre o solo e o ambiente, fornecendo calor e frio;
- **Centrais Geotérmicas:** aproveitamento direto de fluidos geotérmicos em centrais a altas temperaturas (> 150 °C), para movimentar uma turbina e produzir energia elétrica.

Nos edifícios residenciais, os sistemas geotérmicos utilizados envolvem a tecnologia BCG, como podemos ver de forma esquematizada na Figura 44.

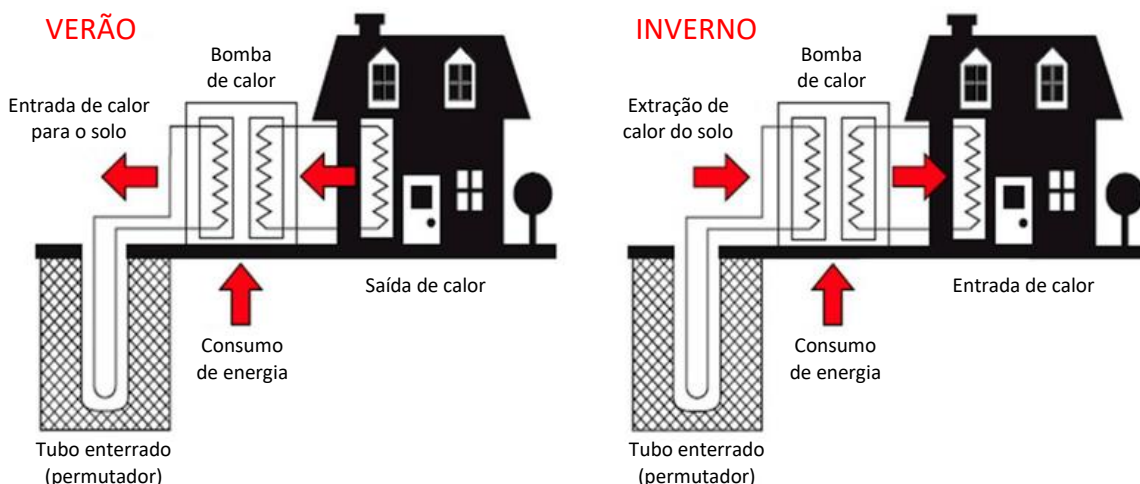


Figura 44 – Processo de captação da energia geotérmica.

A captação de energia é conseguida através de circuitos de tubagens enterradas, onde circula um fluido de transferência. Na estação fria a energia é libertada para o espaço a

aquecer através de uma bomba de calor, ao passo que na estação quente se dá o processo inverso, sendo o excesso de calor do espaço a arrefecer transferido para o solo. Em Portugal, é no arquipélago dos Açores, devido à sua localização na fronteira de placas, que a exploração de energia geotérmica se encontra mais desenvolvida, existindo centrais nas várias ilhas. No continente, o aproveitamento deste tipo de energia ainda se limita ao seu aproveitamento para aquecimento de alguns edifícios e, apesar de existirem alguns casos de aplicação destes sistemas, não é uma prática muito habitual, devido aos elevados custos de instalação. Por esta razão, o investimento só é rentável em circunstâncias favoráveis muito específicas.

BIOMASSA

Na conceção da geração de energia, a biomassa é a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias da madeira, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos (lixo doméstico) suscetíveis de aproveitamento energético. A biomassa pode ser considerada um recurso natural renovável, contrariamente aos combustíveis fósseis [42].



Figura 45 - Energia da Biomassa – Eletricidade produzida a partir de matéria orgânica.

A biomassa pode ser utilizada diretamente como combustível ou na produção de energia a partir de três processos: combustão direta, processos termoquímicos e biológicos.

A combustão direta, é a queima da biomassa em fornos, caldeiras ou fogões. O problema deste tipo de combustão é a baixa eficiência, por causa da humidade da biomassa e da baixa densidade energética dos combustíveis envolvidos. Sem contar, que neste tipo de combustão é praticamente impossível obter a queima completa, o que pode gerar grandes quantidades de emissões atmosféricas.

Dentro dos processos termoquímicos, podemos destacar a pirólise e a gasificação. A pirólise é a queima da biomassa, sem oxigénio. O que sobra da decomposição é uma

mistura de gases, líquidos (bio-óleos) e sólidos (carvão). A gasificação é a conversão do combustível sólido/biomassa em gás, por queima com ar subestequiométrico, através de reações termoquímicas, que em seguida é utilizado para obtenção da energia. É um método bem mais eficiente que a combustão direta devido à pureza do gás combustível, produzindo também emissões atmosféricas mais limpas. O gás obtido por este método pode ser usado em turbinas a gás ou mesmo em motores de combustão interna, comprovando sua maior versatilidade.

Nos processos biológicos temos a digestão anaeróbia e a fermentação. A digestão anaeróbia também ocorre na ausência de oxigênio, mas neste caso o processo de decomposição da biomassa é feito por bactérias. É muito usado na conversão da fração orgânica dos resíduos urbanos e agrícolas em biogás combustível. A fermentação é outro processo biológico, em que os açúcares de plantas são convertidos em álcool, pela ação de microrganismos conhecidos como leveduras.

Existem três tipos de combustíveis provenientes da biomassa: sólidos, líquidos e gasosos. São vários os produtos derivados da biomassa, alguns exemplos são: bio-óleo, biogás, etanol, biodiesel, óleo vegetal, entre outros.

No que diz respeito aos edifícios, nomeadamente os residenciais, os tipos de equipamentos a biomassa mais utilizados são: salamandras a ar ou água, recuperador de calor a ar ou caldeira. A escolha do sistema vai depender de vários fatores, primeiro é necessário definir qual a utilização do sistema, se apenas fará a climatização ou produção de AQS, ou se desempenhará uma dupla função (climatização e AQS). Geralmente este tipo de equipamentos, usa como combustível lenha ou *pellets*, combustíveis considerados económicos.

2.5 CONSTRUÇÃO MODULAR

O conceito de construção modular, tipicamente, é entendido pela generalidade das pessoas como o processo de construir edifícios, juntando secções ou módulos que foram montados num determinado local e posteriormente transportados e montados no local desejado. O conceito de edifícios modulares é diferente do de edifícios móveis, uma vez que tipicamente, após a montagem dos módulos, a casa permanece definitivamente no seu local, tal como qualquer outro edifício tradicional.

A construção modular é um processo industrializado, baseado na utilização de módulos, e dividido em duas fases. A primeira fase contempla a produção dos elementos do sistema em fábrica com recurso à produção em série, o que se traduz numa diminuição de custos relativamente às construções tradicionais permitindo assim um controle de qualidade muito maior. A segunda fase é o transporte e montagem. Os materiais que constituem a estrutura deverão ser resistentes mas leves, para facilitar o transporte e a montagem. Os elementos construtivos devem ter mecanismos de montagem simples, sem necessidade de cortes, sobreposições ou qualquer tipo de alteração que facilitem o processo de montagem, reduzindo dessa forma os gastos com a mão de obra.

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS MODULARES

A definição de construção modular, possibilita um número considerável de soluções que podem ser classificadas como sistemas construtivos modulares. Podem existir sistemas pré-fabricados que são colocados no local totalmente aptos a ser utilizados, sistemas de construção que são montados no local por encaixes sucessivos da sua estrutura ou até sistemas mais complexos em que os elementos estruturais são modulares e padronizados; o conceito de construção modular engloba um grande e variado número de sistemas.

Para que se possa compreender melhor esses sistemas, é conveniente organizar e classificar os diversos sistemas modulares. A classificação apresentada tem por base o trabalho desenvolvido por Lawson em 2007 [82], que divide as soluções existentes em função das suas características físicas e funcionalidades.

SISTEMAS MODULARES FECHADOS

Os sistemas modulares fechados são constituídos por módulos pré-fabricados, semelhantes a contentores de transporte marítimo. Caracterizam-se pela padronização, existindo poucas oportunidades para alterações do espaço interior ou modificação do seu aspeto exterior, sendo as suas dimensões máximas condicionadas pelo meio como é feito o transporte. Devido à uniformidade dos módulos, não existe grande liberdade arquitetónica nas soluções construtivas. Contudo, estes podem ser facilmente empilhados, ligados entre si ou suportados por uma estrutura metálica principal que funciona como esqueleto. A Figura 46 ilustra dois exemplos de sistemas modulares fechados: um módulo fechado isolado e uma solução construtiva composta por módulos.

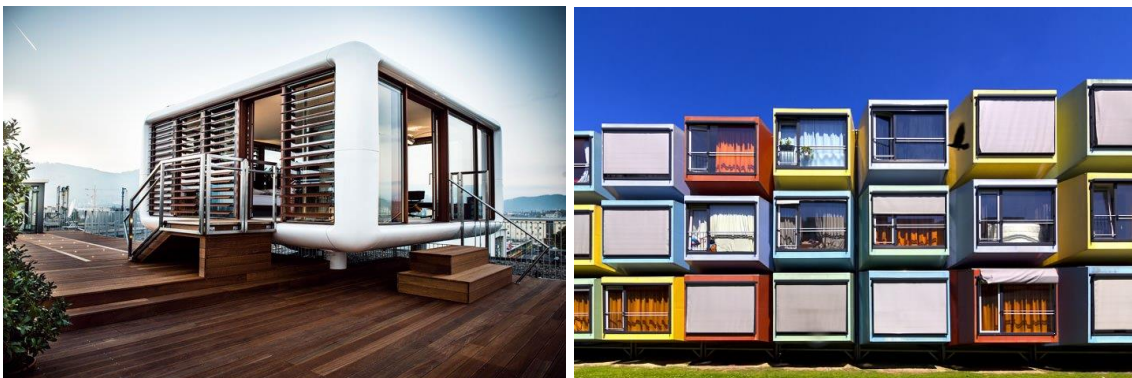


Figura 46 - Exemplos de sistemas modulares fechados: LOFT CUBE (à esquerda) e La Capanna – Spacebox (à direita).

SISTEMAS MODULARES PARCIALMENTE ABERTOS

Estes sistemas são muito semelhantes ao anterior, sobretudo no que toca ao grau de padronização e ao condicionalismo a nível de soluções construtivas; apenas diferem no modo como a ligação entre os módulos é feita. Estes módulos possuem aberturas

laterais que permitem a ligação com outros módulos do mesmo tipo, possibilitando a ampliação dos espaços interiores adaptando-os às necessidades em causa.

Na Figura 47 podemos ver um exemplo de um sistema de construção parcialmente aberto.



Figura 47 – Exemplo de um sistema de construção parcialmente aberto.

SISTEMAS MODULARES ABERTOS

Estes sistemas consistem no uso de módulos totalmente ou parcialmente abertos, compostos apenas por sistemas verticais (pilares), laje de pavimento e cobertura. Estes módulos podem ser agrupados em várias direções, permitindo assim um maior número de configurações e têm a capacidade de criar espaços cobertos maiores.

SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE ELEMENTOS MODULARES

Estes sistemas diferem bastante dos anteriores, não compreendem o uso de módulos tipo contentor, mas sim o uso de elementos construtivos pré-fabricados, como paredes ou lajes, que são ligados entre si no local da obra. Esta solução, por não ser um sistema de pré-fabricação padronizada, permite maior liberdade arquitetónica.

SISTEMAS MODULARES MISTOS

Estes sistemas compreendem a junção dos vários tipos de sistemas modulares acima mencionados, partilhando várias soluções na elaboração do edifício por forma a criar uma estrutura final mais versátil.

2.6 PROJECTOS NACIONAIS E INTERNACIONAIS DE RELEVÂNCIA

Este subcapítulo tem como objetivo dar a conhecer alguns exemplos de edifícios não residenciais que foram projetados e construídos com o propósito de se tornarem uma referência na conceção dos NZEB. Existem neste momento diversos projetos, tanto no nosso país como a nível internacional, no entanto, apenas serão apresentados três exemplos, para dar a conhecer, de forma sucinta, algumas soluções já existentes que englobem este conceito.

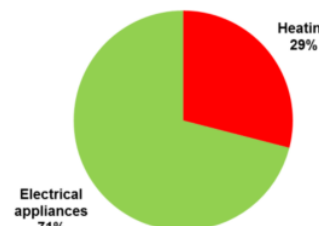
Construído nos anos 2004 e 2005, e inaugurado no campus do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia), em 2006, o edifício Solar XXI é considerado um edifício muito eficiente, do ponto de vista regulamentar, com uma diferença no desempenho energético 1/10 em relação a um edifício de escritórios padrão em Portugal. Trata-se de um edifício de serviços e laboratório com cerca de 1500 m², distribuídos em três níveis, no qual é feita uma integração entre arquitetura contemporânea e as energias renováveis com o objetivo de implementar medidas de eficiência energética sem que isso significasse comprometer o rigor formal da sua estética arquitetónica. Estrategicamente procurou-se uma otimização com a envolvente, diminuindo as cargas térmicas do edifício, e a aplicação de sistemas solares passivos (aquecimento e arrefecimento) e ativos (fotovoltaicos e térmicos) [83].

Algumas das características gerais do edifício estão resumidas na Tabela 13.

Tabela 13 – Resumo das características do edifício SOLAR XXI (Adaptado de [84]).

| SOLAR XXI | | PORTUGAL |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Autores: | Hélder Gonçalves, Laura Aelenei, Susana Camelo, LNEG | |
| Ilustração: |  | |
| Localização: | Paço do Lumiar 22, 1648-038, Lisboa, Portugal | |
| Tipo de edifício: | Serviços - escritórios | |
| Tamanho: | 1200 m ² , área útil aquecida | |

SOLAR XXI**PORTUGAL**

| | | | | |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p> Materiais de construção da envolvente:</p> | <p> Todo o edifício tem isolamento externo, o que reduz significativamente a influência das pontes térmicas, preservando a inércia térmica. O edifício tem paredes externas de tijolo de 22 cm e um sistema composto de isolamento térmico externo (ETICS) de 6 cm, um telhado de betão com isolamento de 10 cm no topo, uma laje com isolamento de poliestireno expandido de 10 cm e vidros duplos transparentes.</p> | | | |
| <p> Características da envolvente:</p> | <p> Paredes</p> | | <p> 0,54 W/(m².°C)</p> | |
| | <p> Janelas</p> | | <p> 4,5 W/(m².°C)</p> | |
| | <p> Telhado</p> | | <p> 0,26 W/(m².°C)</p> | |
| | <p> Laje</p> | | <p> 0,80 W/(m².°C)</p> | |
| | <p> Pontes térmicas</p> | | <p> 0,55 W/(m².°C) (Colunas e Vigas)</p> | |
| <p> Sistemas integrados no edifício:</p> | <p> A fachada principal do edifício Solar XXI (orientada a sul) é coberta por janelas e módulos PV em proporções equivalentes. A área envidraçada (≈ 46% da fachada sul e 12% da área de piso condicionada) interage diretamente com as salas de escritório permanentemente ocupadas, recolhendo energia solar direta e fornecendo calor e luz natural. O edifício não possui sistema de refrigeração ativo. Um conjunto de medidas e estratégias eficientes contribui para diminuir as cargas de refrigeração do edifício. Persianas venezianas ajustáveis foram colocados fora do vidro para limitar os ganhos solares diretos, um sistema de arrefecimento fornece entrada de ar pré-arrefecido para dentro do edifício usando a terra como fonte de refrigeração. A ventilação natural é fornecida devido aos ventos cruzados e efeito de empilhamento através de aberturas na fachada e no nível do telhado. Um sistema coletor solar térmico no telhado do edifício é usado para aquecimento de espaço com um sistema de armazenamento no porão. Este sistema é assistido por uma caldeira de gás natural em períodos sem sol.</p> | | | |
| <p> Tecnologias energia renovável:</p> | <p> O sistema integrado de PV e solar térmico (PV-T) integrado na fachada sul contribui para a melhoria do clima interior durante a estação de aquecimento durante o dia. Dois outros sistemas fotovoltaicos estão instalados no estacionamento perto do edifício. O coletor solar térmico instalado no telhado do edifício é para fins de aquecimento ambiente.</p> | | | |
| <p> Uso energia final:</p> | <p> Calculada</p> | | <p> Método de cálculo</p> | <p> Simulação: <i>EnergyPlus</i></p> |
| | <p> Medida</p> | <p> x</p> | <p> Ano:</p> | <p> 2011</p> |
| | <p> Aquecimento (gás)</p> | | <p> 12 kWh/m².ano (calc.)</p> |  <p> Heating 29%</p> <p> Electrical appliances 71%</p> |
| | <p> AQS</p> | | <p> Incl. no aquecimento</p> | |
| | <p> Sistema Solar Térmico</p> | | <p> -5 kWh/m².ano (calc.)</p> | |
| | <p> Arrefecimento</p> | | <p> 0 kWh/m².ano (calc.)</p> | |
| | <p> Ventilação</p> | | <p> Incluído nos equipamentos</p> | |
| | <p> Iluminação</p> | | | |
| | <p> Equipamentos (energia da rede)</p> | | <p> 30 kWh/m².ano</p> | |
| | <p> Geração fotovoltaica (alimentação)</p> | | <p> -32 kWh/m².ano</p> | |
| | <p> Total</p> | | <p> 5 kWh/m².ano</p> | |
| | <p> Excedente eletricidade</p> | | <p> -2 kWh/m².ano</p> | |

| SOLAR XXI | | PORTUGAL | |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso de energia primária: | Gás | 12 kWh/m ² .ano (calc.) | Fator de energia primária: 1 |
| | Sistema Solar Térmico | -5 kWh/m ² .ano (calc.) | Fator de energia primária: 1 |
| | Total eletricidade (energia da rede) | 75 kWh/m ² .ano | Fator de energia primária: 2.5 |
| | Geração PV (alimentação) | -80 kWh/m ² .ano | Fator de energia primária: 2.5 |
| | Total | 2 kWh/m ² .ano | |
| | Excedente eletricidade | -5 kWh/m ² .ano | |
| Contribuição energia primária: | 88% da energia final total (106% do uso de eletricidade) | | |
| Melhoria em comparação com os requisitos nacionais: | 90% | Comparado com: | Coefficiente de energia primária de referência para edifício de escritórios: 30 kg _{ep} /m ² .ano Este edifício: 2.8 kg _{ep} /m ² .ano (kg _{ep} : Kg equivalentes de petróleo) |
| Custo: | Custo total (incluindo taxas) 800 €/m ² | | |

Outro dos edifícios que pode ser considerado como referência, o Centro de Competências *Rakvere Smart Building*, localizado na Estônia, representa um conceito experimental, projetado para abrigar uma instalação de investigação para tecnologias inteligentes de construção. Surgiu da parceria de várias universidades da Estônia, escolas regionais, empresas e autoridades locais, que se esforçam para tornar o centro de competência numa referência ao nível da indústria da construção, a fim de apoiar o desenvolvimento regional e a inovação. Os campos de investigação incluem novas tecnologias para equipamentos domésticos e de escritório, bem como sistemas automatizados de construção e domótica.

Além disto o centro de competência foi projetado como o primeiro edifício público de energia quase zero na Estônia, participando ativamente de várias iniciativas europeias no âmbito de energia sustentável, e representa a eficiência energética por meio de edifícios inteligentes e inovadores. Projetado desde o início usando a metodologia *Building Information Modeling (BIM)*, utiliza uma variedade de fontes de energia sustentáveis, como painéis solares e bombas de aquecimento geotérmicas, usadas para aquecer o edifício. No seu interior existe um ambiente único de demonstração e teste, que permite que os investigadores tenham o espaço perfeito para o trabalho académico. Algumas das características gerais do edifício estão resumidas na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo das características do *Rakvere Smart Building*. (Adaptado de [84])

| Rakvere Smart Building | | ESTÓNIA | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Autores: | Mikk Maivel, KredEx O edifício foi projetado por Oliver Alver | | | |
| Ilustração: |  | | | |
| Localização: | Turu plats 2, Rakvere, Estonia | | | |
| Tipo de edifício: | Serviços - escritórios | | | |
| Tamanho: | 2170 m ² , área bruta de construção | | | |
| Materiais de construção envolvente: | Fachada dupla, estrutura de suporte de carga de elementos de betão pré-fabricados com isolamento de poliuretano. Construção típica do telhado com laje de núcleo oco e isolamento de 500 mm. As janelas são feitas com molduras de madeira e alumínio e vidros triplos. | | | |
| Características da envolvente: | Paredes | 0,07 W/(m ² .°C) | | |
| | Janelas | 0,8 W/(m ² .°C) | | |
| | Telhado | 0,08 W/(m ² .°C) | | |
| | Laje | 0,14 W/(m ² .°C) | | |
| Sistemas integrados no edifício: | O aquecimento é gerado pelo sistema de aquecimento urbano local e é fornecido por radiadores de baixa temperatura. O edifício possui sistemas de ventilação mecânica de fornecimento-extração com recuperação de calor (sistemas de Volume de Ar Variável (VAV) e de Volume de Ar Constante (VAC)). A água quente também é gerada pelo aquecimento urbano. Para evitar o superaquecimento, o edifício utiliza um sistema de refrigeração passiva de alta temperatura baseado em pilhas de energia aberta conectadas à água subterrânea. | | | |
| Tecnologias de energia renovável: | Pilhas de energia estão conectadas à água subterrânea para arrefecimento passivo e possui um sistema fotovoltaico de 33,8 kW. | | | |
| Uso energia final: | Calculada | x | Método de cálculo | Ferramenta de simulação dinâmica – padrões nacionais |
| | Medida | | Ano: | - |
| | Aquecimento | | 39,4 kWh/m ² .ano |  |
| | AQS | | 6,9 kWh/m ² .ano | |
| | Arrefecimento | | 0,6 kWh/m ² .ano | |
| | Ventilação | | 9,8 kWh/m ² .ano | |
| | Iluminação | | 10,5 kWh/m ² .ano | |
| | Equipamentos | | 19,1 kWh/m ² .ano | |
| | Total | | 86 kWh/m ² .ano | |
| | Geração fotovoltaica | | -13,3 kWh/m ² .ano | |

| Rakvere Smart Building | | | ESTÓNIA |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso de energia primária: | Aquec. urbano | 41,7 kWh/m ² .ano | Fator de energia primária: 0.9 |
| | Eletricidade | 56,2 kWh/m ² .ano | Fator de energia primária: 2 |
| | Total | 97,9 kWh/m ² .ano | |
| Contribuição energia primária: | 23% da energia final total | | |
| Melhoria em comparação com os requisitos nacionais: | 60% | Comparado com: | Requisito mínimo para desempenho energético é de 160 kWh/m ² .ano (definido na lei de energia da Estónia "Requisitos mínimos para o desempenho energético de agosto de 2012") |
| Custo: | Os custos incluem planejamento e construção. Equipamentos adicionais e aparelhos de monitoramento também estão incluídos. Os custos adicionais em comparação com um edifício regular são estimados em cerca de 5-10%. | | |

O último exemplo representa um estudo de construção de alta eficiência energética, e está integrado no cenário futuro exigido pela Diretiva Europeia 2010/31/EU. O *VELUXlab* (Figura 48), inaugurado em 2012 no *Campus Bovisa* do Politécnico de Milão, é o primeiro exemplo de um NZEB instalado num *campus* universitário.



Figura 48 – Edifício *VELUXlab*, [85].

O projeto, originalmente do estúdio espanhol ACXT/IDOM e depois retomado pelo estúdio Atelier2 em Milão, foi financiado internamente pela VELUX, uma empresa Dinamarquesa especializada na produção de janelas e claraboias, e é uma arquitetura ativa e reativa. Tem a função de um laboratório onde os investigadores do Politécnico podem experimentar e testar novas tecnologias e materiais para eficiência energética em edifícios e para o estudo de luz e ventilação natural. Está constantemente

monitorizado para avaliar não apenas os consumos reais de energia, mas também o comportamento térmico, para validar os modelos analíticos adotados. Foi instalado com um sistema de sensores de temperatura, bem como mais alguns contadores para calcular o consumo final de energia do edifício.

O *VELUXlab* é, portanto, um exemplo de reutilização inteligente e sustentável de uma estrutura existente, bem como um modelo de construção eficiente em energia e um protótipo para a nova geração de residências, antecipando futuras experiências e implementação no setor. Todo o projeto teve em consideração o impacto ambiental, desde o isolamento térmico, painéis de revestimento externo em fibra de vidro reciclado, enchimento entre espaços com poliestireno desintegrado proveniente de desperdício moído da fabricação, andar externo em madeira reutilizada, todos materiais que contribuem para reduzir o impacto ambiental da construção em todo o seu ciclo de vida. A tecnologia de construção multicamadas permite também desmontar e reciclar facilmente o edifício nos seus vários componentes.

Conforme exposto, estes são apenas alguns exemplos de edifícios energeticamente eficientes, com diferentes finalidades. No entanto, para que eles possam ser considerados verdadeiramente sustentáveis, seria necessário efetuar uma avaliação do ciclo de vida dos materiais e energia utilizados na sua construção e utilização, o que está fora do âmbito deste trabalho.

APRESENTAÇÃO DO PROJETO

3.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E FUNCIONAIS

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS

3.2 LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO

3.2.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EXTERIORES – ZONA CLIMÁTICA E ORIENTAÇÃO SOLAR

3.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - ENVOLVENTE OPACA

3.3.1 PAREDES EXTERIORES

3.3.2 PAREDES INTERIORES

3.3.3 COBERTURAS

3.3.4 PAVIMENTOS

3.3.5 TETOS FALSOS

3.3.6 ENVIDRAÇADOS

3.4 FUNDAÇÕES – ESTRUTURA DE SUPORTE

3.5 ESTRUTURA PRINCIPAL

3.5.1 COMPONENTES DO SISTEMA

3.5.2 CONFIGURAÇÃO FINAL

3 APRESENTAÇÃO DO PROJETO

O presente capítulo serve para apresentar a proposta final do projeto de um módulo do ZELab – *Zero Energy Laboratory*, que é um espaço laboratorial destinado à investigação multidisciplinar e multidepartamental, no domínio da energia de fontes renováveis, eficiência energética e edifícios inteligentes. O módulo a projetar é um módulo destinado aos serviços de apoio comum, a saber: sala de reuniões, casas de banho, receção e depósito de reagentes.

Tendo como base a informação resumida no capítulo anterior, e a apresentação de grande parte das estratégias e tecnologias passíveis de serem usadas no projeto e construção dos nZEB, bem como de outros temas relacionados com a construção sustentável e também modular, é, portanto, necessário dimensionar um edifício que possua uma parte significativa das características referidas e que tem como objetivo fundamental ser energeticamente eficiente.

A escolha dos elementos construtivos mais adequados ao tipo de clima e à localização do edifício, conduz, tal como já foi referido anteriormente, a melhores níveis de conforto térmico, menores custos de construção e de manutenção, maior durabilidade e reduz o impacto ambiental global produzido durante o ciclo de vida útil do edifício.

Considerando as várias soluções e sistemas construtivos disponíveis, o que mais se adequa ao objetivo deste trabalho, é conceber um sistema construtivo modular, que possibilite a acoplação de vários módulos tipo, tornando o edifício final configurável e ampliável, mediante as necessidades pretendidas.

Depois de definido o sistema construtivo é necessário proceder à caracterização da envolvente (localização, orientação solar, características dos materiais construtivos, entre outros).

3.1 CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E FUNCIONAIS

A solução de construção passa pela junção de vários elementos pré-fabricados. A estrutura principal deve ser rígida, para suportar as cargas dos pisos, e simultaneamente facilitar a montagem dos elementos secundários que a compõem, pisos, paredes e de cobertura.

A estrutura principal e todos os restantes módulos, uma vez que são produzidos em fábrica e têm de ser transportados para o local de montagem, necessitam de cumprir certos requisitos dimensionais. Os requisitos de transporte, Decreto-Lei n.º 132/2017 de 11 de Outubro [86] que aprova o Regulamento que fixa os pesos e as dimensões máximos autorizados para os veículos em circulação, podem ser consultados em anexo (ANEXO II).

Assim, os módulos estruturais terão uma configuração retangular, de medida exterior aproximadamente 5,20x2,60x3,00m. A solução adotada permite que estes cumpram os

requisitos dimensionais de transporte, mencionadas anteriormente, e ao mesmo tempo garante uma configuração de construção simples.

A montagem do edifício modular, necessita de uma estrutura que sirva de suporte (fundações), para a criação de uma barreira física de separação com o terreno, servindo também para passar tubagens ou acomodar outros sistemas de interesse.

A estrutura final do edifício será composta pela junção de vários módulos, que resultam numa área útil de aproximadamente 75 m², distribuída por dois pisos. Para o piso térreo serão usados quatro módulos, sendo que, no piso superior apenas serão utilizados três. O edifício será constituído por vários espaços, sendo eles: um espaço para armazenamento dos materiais do laboratório, uma sala de reuniões e uma área comum, composta pelo hall e as casas de banho.

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS

Dadas as dimensões, é necessário criar uma configuração simples, que permita acomodar todos os espaços. No primeiro piso, temos o hall, as casas de banho, o armazém e um corredor que servirá de acesso ao armazém e ao laboratório. Serão projetadas duas casas de banho, uma masculina e outra feminina, ambas adaptadas a pessoas com mobilidade reduzida, permitindo aproveitar melhor o espaço. O piso superior irá destinar-se exclusivamente à sala de reuniões, tendo acesso a partir do hall. No total, contabilizamos seis espaços, dos quais apenas dois serão climatizados e os restantes quatro não climatizados. Estes espaços têm um pé direito de 2,50 m até ao teto falso e 3 m na totalidade.

As características das divisões são as seguintes:

1. **Hall de entrada/escadas** – Local de espera, tem uma área de 15,6 m² que juntamente com a antecâmara das casas de banho entrada principal e escadas contabiliza um total de 30 m². Localiza-se no piso térreo, no centro do edifício, e tem paredes em contato com o exterior, a norte, este e oeste. A fachada principal tem janelas e portas em vidro, exigindo especial atenção para as propriedades térmicas dos seus materiais.
2. **Sala de reuniões** – Localiza-se na parte superior do edifício e ocupa uma área de 25 m². Funciona como local de reuniões, com capacidade para dez pessoas, e não se prevê que seja usada com regularidade. Possui uma fachada envidraçada a oeste e duas paredes em contato com o exterior, a norte e a este.
3. **Instalações sanitárias** – Situam-se no piso térreo a norte do edifício, ocupando uma área de total de 6,4 m², dividida por duas casas de banho adaptadas a pessoas com mobilidade reduzida. Ambas possuem paredes em contacto com o exterior.
4. **Armazém** – Local com uma área de 9,4 m², destina-se ao armazenamento de material de laboratório, incluindo alguns equipamentos e produtos químicos. Localiza-se a sul do edifício, tem uma parede em contacto com o exterior a este e a sua cobertura é ajardinada.

5. **Corredor** – Local situado no piso térreo do edifício, possui uma área de 2,5 m², com uma parede em contacto com o exterior orientada a oeste. Serve de ponto de acesso ao laboratório e ao armazém e considera-se a possibilidade de estarem até duas pessoas nesta divisão.

3.2 LOCAL DE IMPLEMENTAÇÃO

O edifício irá situar-se no *campus* do ISEP, mais concretamente no parque de estacionamento, que está localizado na Rua de São Tomé, freguesia de Paranhos, no Concelho do Porto, a uma elevação de 110 metros, na latitude 41°10'40,50" N, longitude 8°36'32,40" O, com base no *software* Google Earth Pro®, como ilustrado na Figura 49.



Figura 49 – Imagem do local onde se vai situar o edifício.

O ZELab possui uma vizinhança composta por edifícios e vegetação (árvores de grande porte). Na direção norte e sul está rodeado de árvores, a este encontra-se o edifício H (edifício do *campus* do ISEP, com quatro andares) enquanto a oeste temos edifícios residenciais com altura média de quatro andares.

3.2.1 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES EXTERIORES – ZONA CLIMÁTICA E ORIENTAÇÃO SOLAR

No Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, e respetiva regulamentação, podemos encontrar os parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.

O reconhecimento da zona climática, onde se pretende implementar o edifício, é baseado na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. O edifício irá situar-se na Zona do Grande Porto, como podemos ver de forma mais detalhada na Tabela 15.

Tabela 15 – Excerto da Tabela NUTS III, [44].

| NUTS III | Municípios |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grande Porto | Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia |

Adicionalmente, serão definidas as três zonas climáticas de inverno (I1, I2 ou I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 ou V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente.

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus -dias (GD) na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno, [44].

| Critério | $GD \leq 1300$ | $1300 < GD \leq 1800$ | $GD > 1800$ |
|----------|----------------|-----------------------|-------------|
| Zona | I1 | I2 | I3 |

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Critérios para a determinação da zona climática de verão, [44].

| Critério | $\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$ | $20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$ | $\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$ |
|----------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Zona | V1 | V2 | V3 |

Com base na informação anterior, pode-se concluir, pelos cálculos (Anexo I), que o edifício se irá situar numa zona climática I1 (Inverno) e V2 (Verão).

O sol enquanto fonte de calor e de luz é um elemento determinante no estudo do comportamento térmico dos edifícios, podendo originar situações de desconforto devido ao sobreaquecimento em edifícios. Por esse motivo, a orientação das fachadas é dos parâmetros arquitetónicos de maior importância, pelo que devem ser adotadas soluções construtivas, que permitam uma maior captação da radiação solar nos períodos de maior necessidade de energia (Inverno), e uma menor superfície exposta, quando existe necessidade de dissipar o calor (Verão). Estas condições proporcionam um maior conforto aos ocupantes e consequente redução dos gastos de energia com a climatização (aquecimento ou arrefecimento).

Dada a posição geográfica, a maior incidência de radiação solar dá-se no quadrante sul, pelo que, é na fachada sul que deve estar colocada a maior área de envidraçados.

Quanto à fachada a norte, esta área deve ser reduzida, uma vez que, durante a estação de aquecimento, as perdas térmicas através dos envidraçados são elevadas.

3.3 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS - ENVOLVENTE OPACA

A envolvente opaca é o conjunto das paredes, cobertura e pavimentos que definem a envolvente exterior e interior de um edifício ou fração autónoma.

A envolvente e o período de funcionamento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento são os principais fatores de consumo de energia de um edifício, pois influenciam as condições climáticas no seu interior que, por sua vez, leva a gastos de energia para se atingir as condições de conforto térmico.

A maior parte da área da envolvente, corresponde às paredes exteriores. É através destas que se processa a maior parte das trocas térmicas entre os ambientes interior e exterior, pelo que a escolha cuidada das soluções construtivas a adotar, tem um impacto direto na redução do consumo de energia.

Os aspetos mais relevantes na caracterização da envolvente são o coeficiente de transmissão térmica (U) e a inércia térmica. O primeiro determina a transferência de calor por unidade de área que ocorre através da envolvente. Assim, a redução da razão da área vidro/parede e a utilização de isolamento são fatores que reduzem consideravelmente a necessidade energética. As características da envolvente devem ser conjugadas com a inércia térmica do edifício. A inércia térmica é um parâmetro muito importante para o balanço térmico de um edifício e relaciona-se com a capacidade que um elemento possui para armazenar calor e apenas libertá-lo ao fim de algum tempo. Permite absorver energia proveniente dos ganhos solares durante o dia e libertá-la à noite reduzindo, deste modo, a carga de aquecimento de um edifício.

No dimensionamento dos envidraçados, é importante avaliar o seu desempenho, através do seu coeficiente de transmissão térmica (U) e do fator solar (g_{\perp}). Em termos energéticos, deve-se minimizar a transferência de calor com o exterior. As soluções mais comuns passam pela utilização de um envidraçado de vidro duplo ou triplo e a aplicação de um revestimento de baixa emissividade, aplicado sobre o lado interno do vidro externo. Os sistemas de sombreamento, tais como persianas e cortinas ou as palas horizontais também são frequentemente utilizados para controlar a radiação solar que é transmitida para o interior do edifício.

As propriedades físicas e da espessura dos elementos construtivos, variam consoante os materiais que os compõem. Para cada solução da envolvente, a seguir apresentada, serão escolhidos materiais que garantam que o coeficiente de transmissão térmica global, cumpra os requisitos apresentados no RECS, para as zonas climáticas anteriormente definidas.

A eficácia dos elementos que compõe a estrutura da envolvente de um edifício térmico é expressa no coeficiente de transmissão térmica. Um valor baixo do coeficiente de transmissão térmica, traduz-se numa capacidade de isolamento térmico maior, e é

calculado pelo inverso do somatório das resistências térmicas. O cálculo do U, para os elementos opacos, deve ser determinado de acordo com as normas europeias em vigor. A fórmula de cálculo e restantes outros parâmetros relevantes, aparecem no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [44].

$$U = \left(R_{si} + \sum_j R_j + R_{se} \right)^{-1} \quad [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

em que,

R_j - resistência térmica do elemento/camada, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{si} - resistência térmica interior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{se} - resistência térmica exterior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

$$R_j = \frac{e}{\lambda}$$

em que,

e - espessura do material, [m]

λ - condutibilidade térmica convencional, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

O cálculo do valor de U obriga a que sejam conhecidas as características da parede, a espessura, os materiais utilizados e a condutibilidade de cada material. O valor da condutibilidade térmica e das resistências superficiais, para o cálculo dos elementos presentes neste projeto, foram retirados da publicação “ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios” [87]. Algumas das soluções adotadas para a envolvente, são soluções patenteadas no mercado, pelo que, o coeficiente de transmissão térmica é dado pelo fabricante.

Em seguida, serão apresentadas a várias soluções adotadas para a envolvente opaca e respetivo coeficiente de transmissão térmica.

3.3.1 PAREDES EXTERIORES

PAREDES LEVES

As paredes leves do tipo LSF, são compostas por sistemas multicamadas (Figura 50), havendo a possibilidade de diferentes combinações a fim de aumentar o desempenho termoacústico ou a resistência mecânica.

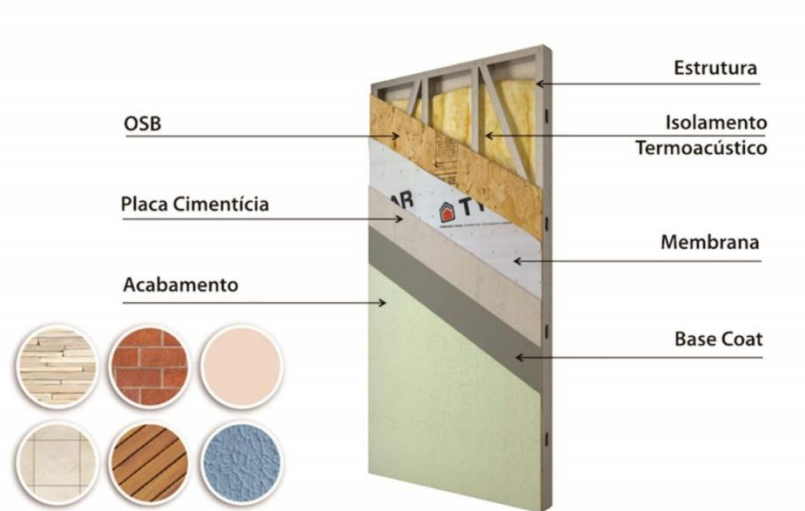


Figura 50 – Detalhe construtivo das paredes exteriores LSF, [88].

A solução para o revestimento exterior passa pela utilização de uma estrutura de aço galvanizado, que confere um longo período de vida. A estrutura será dimensionada com perfis C150, trata-se de peças com secção em C, ou seja, perfis com abas compostas, de quatro arestas, com uma largura exterior de 150 mm, como ilustrado na Figura 51. O espaço vazio no interior dos painéis, serve para a colocação do isolamento, que na solução em causa será a lâ-de-rocha.

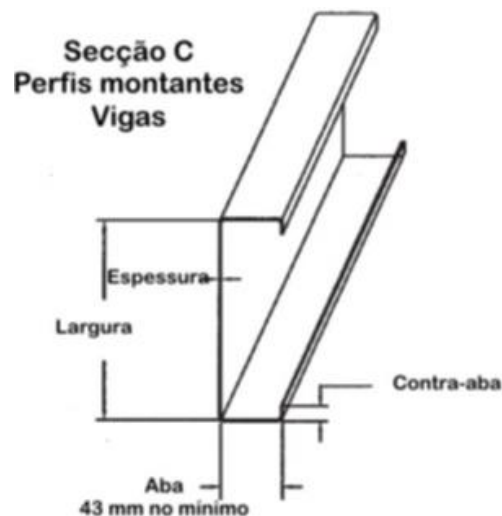


Figura 51 - Exemplo de uma secção C de um perfil de construção de paredes LSF.

Na parte exterior da parede são colocados os restantes materiais que conferem o acabamento final, pela sequência seguinte:

- **Placas OSB** - O OSB (*Oriented Strand Board*) é um material derivado da madeira, composto por pequenas lascas de madeira orientadas em camadas cruzadas seguindo uma determinada direção, que lhe conferem alta resistência e rigidez. É um produto bastante usado na construção LSF, devido ao seu baixo custo e

facilidade de aplicação. A espessura usual para as chapas de OSB usadas nestes sistemas é 12 mm.

- **Membrana** – A colocação da membrana tem como objetivo impedir a entrada de humidade, permitindo em simultâneo que o edifício respire, evitando condensação impedindo o aparecimento de fungos.
- **Placa cimentícia** – São painéis compósitos, de superfícies planas, composto de uma mistura de partículas de madeira e cimento Portland, comprimida e seca, podendo ainda ser reforçado com fibras. Estas placas são especialmente recomendadas para situações onde se requer maior resistência ao impacto e à ação da humidade. Em Portugal, uma bem conhecida marca deste tipo de placas é a VIROC®.
- **Base coat** – É o termo que define o acabamento dado às placas cimentícias. Trata-se de uma massa que é aplicada em toda a extensão da parede, responsável por conferir um acabamento uniforme.
- **Revestimento** – Confere o acabamento final à parede, pode ser pintura, pedra, madeira ou qualquer outro tipo de revestimento.

Na parte interior da parede serão aplicadas placas de gesso cartonado, à semelhança do que é utilizado nas paredes interiores. Devido à sua estrutura contínua e ao baixo coeficiente de condutibilidade térmica, as placas de gesso cartonado garantem um ambiente confortável no interior do edifício. As suas propriedades adsorventes, evitam a condensação, impedindo a formação de fungos, e é um material de fácil manuseamento e aplicação, permitindo diversas possibilidades de acabamento.

A espessura total da parede, é determinada pelo tipo de materiais utilizados e pelo número de camadas de isolamento. Os materiais utilizados e respetivas características relevantes para o caso de estudo, podem ser consultados na Tabela 18.

Tabela 18 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica solução paredes leves de exterior.

| Material | Condutibilidade térmica | Espessura | Resistência térmica | U [W/(m ² .K)] |
|--------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------|
| | λ [W/(m·°C)] | e [mm] | RT [m ² .°C/W] | |
| Resistência interior | - | - | 0,10 | 0,231 |
| Placa de gesso cartonado | 0,25 | 15 | 0,06 | |
| Lã-de-rocha | 0,04 | 150 | 3,75 | |
| Placa OSB | 0,13 | 12 | 0,27 | |
| Membrana | 0,50 | 0,15 | 0,0003 | |
| Placa cimentícia | 0,23 | 15 | 0,11 | |
| Base Coat | 1,30 | 8 | 0,006 | |
| Resistência exterior | - | - | 0,04 | |

3.3.2 PAREDES INTERIORES

A solução para as paredes interiores passa pelas chamadas *DryWalls* (Figura 52). Geralmente nos sistemas de construção LSF estas paredes são estruturais, contudo, neste caso isso não acontece, visto que, estão a ser usadas numa estrutura de aço laminado a quente (ALQ). Quer estas paredes sejam ou não estruturais, tipicamente, os perfis usados são de 90 mm, podendo depois variar a espessura final conforme os materiais utilizados.

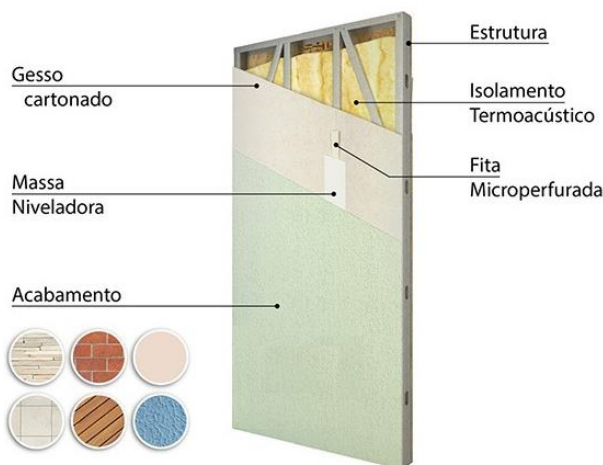


Figura 52 – Detalhe construtivo de paredes interiores LSF, [88].

Embora as paredes interiores não estejam sujeitas às condições do clima exterior, estas têm de dar resposta a determinadas necessidades. Semelhante àquilo que acontece nas paredes de fachada, o espaço vazio no interior dos painéis permite a acomodação da canalização e tubagem elétrica, e em simultâneo a colocação do material isolante, que tem como função isolar acusticamente o espaço, evitando a propagação do som.

O material de isolamento mais usado neste tipo de paredes é a lã-de-rocha, pois além de apresentar boas propriedades de resistência ao fogo, não provoca alergias, não absorve água e permite a circulação do ar, apresentando grande longevidade. Por fim são aplicadas placas de gesso cartonado. Os materiais utilizados e respetivas características relevantes para efeitos de cálculo, podem ser consultados na Tabela 19.

Tabela 19 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica solução paredes interiores.

| Material | Condutibilidade térmica | Espessura | Resistência térmica | U [W/(m ² .K)] |
|--------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------|
| | λ [W/(m.°C)] | e [mm] | RT [m ² .°C/W] | |
| Resistência interior | - | - | 0,10 | 0,407 |
| Placa de gesso cartonado | 0,25 | 15 | 0,06 | |
| Lã-de-rocha | 0,04 | 90 | 2,25 | |
| Placa de gesso cartonado | 1,30 | 8 | 0,006 | |
| Resistência exterior | - | - | 0,04 | |

3.3.3 COBERTURAS

Há uma grande variedade de soluções estruturais para a cobertura dos edifícios. Neste projeto, optou-se por soluções de coberturas planas para construções em LSF. Apesar de serem menos comuns, as coberturas planas em LSF são, na maioria dos casos, resolvidas como uma laje húmida onde a inclinação para o escoamento das águas é obtida variando a espessura do contrapiso armado.

A solução adotada, passa pela utilização de dois tipos de cobertura da ROCKWOOL [89][90]. É um sistema construtivo que consiste basicamente em três elementos:

- Suporte baseado em um perfil de metal liso ou perfurado com uma diversidade de seções. Espessura mínima recomendada de 0,7 mm.
- Isolamento rígido de alta densidade que fornece desempenho térmico e acústico e que serve como suporte para a membrana de impermeabilização.
- Folha de impermeabilização que garante a vedação do telhado, independentemente das condições atmosféricas

De seguida serão apresentadas as duas soluções consideradas para o projeto e respetivas prestações técnicas: uma cobertura **WalkRock** (Figura 53) e uma cobertura **DeckRock Ajardinada** (Figura 54). Para uma informação mais detalhada destas e outras coberturas da marca, as informações podem ser consultadas em catálogo, através da referência [89].

COBERTURA PLANA WALKROCK

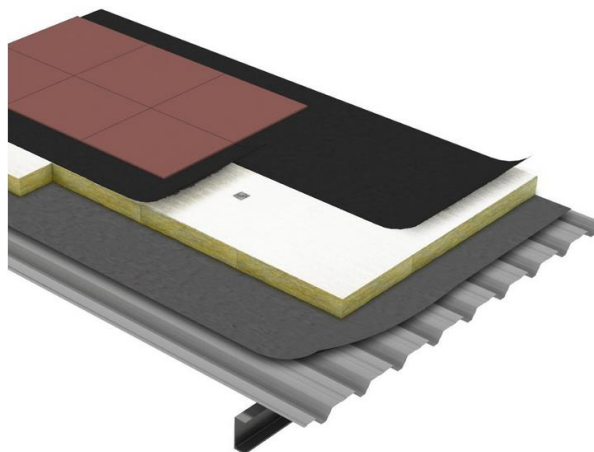


Figura 53 – Detalhe construtivo da cobertura WalkRock, [89].

A solução construtiva anterior é composta por:

1. Zona transitável de telhas semirrígidas (2,5 mm)
2. Folha de betume modificada (2,5 mm)
3. Painel de lã de rocha MEGAROCK (120 mm)
4. Barreira de Vapor
5. Chapa de aço ondulada (0,75 mm)

COBERTURA DECKROCK AJARDINADA

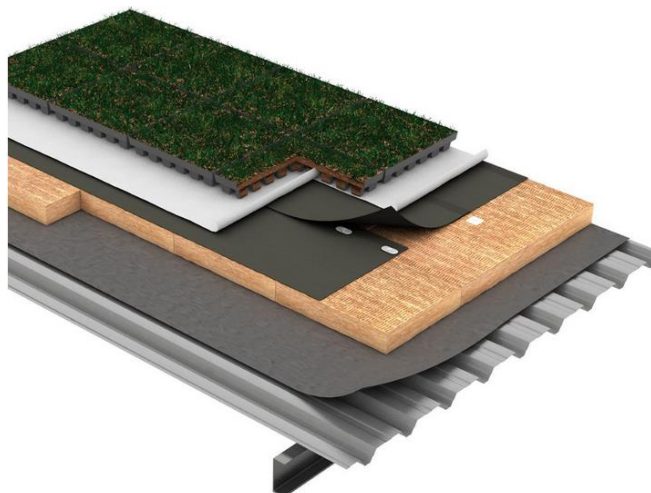


Figura 54 – Detalhe construtivo da cobertura DeckRock Ajardinada, [89].

A solução construtiva anterior é composta por:

1. Tabuleiro drenante com substrato vegetal leve (40 mm)
2. Folha de geotêxtil filtrante
3. Folha de impermeabilização sintética fixa mecanicamente (1,2 mm)
4. HARDROCK 391 painel de lã-de-rocha (120 mm)
5. Barreira de Vapor
6. Chapa de aço ondulada (0,75 mm)

As prestações técnicas das duas soluções de cobertura, atrás referidas, podem ser consultadas na Tabela 20.

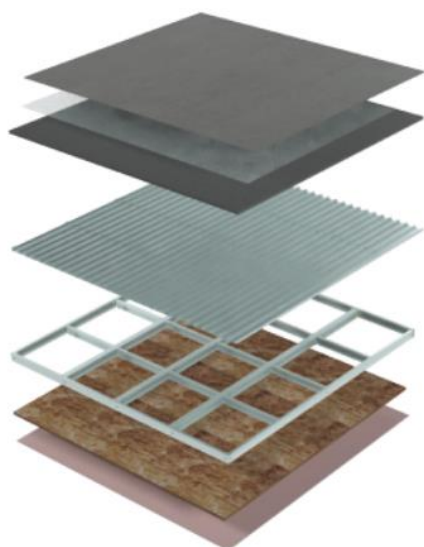
Tabela 20 – Prestações técnicas da cobertura DeckRock Ajardinada, [89].

| Tipo de Cobertura | Coefficiente de Transmissão Térmica | Isolamento Acústico | Resistência ao fogo |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| WalkRock | $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ | RA = 39 dBA | REI = 60 min |
| DeckRock Ajardinada | $U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ | RA = 36 dBA | REI = 60 min |

3.3.4 PAVIMENTOS

Para a construção das lajes de pavimento, segue-se o mesmo princípio de construção das paredes. Neste projeto, optou-se pelo uso de pisos aligeirados, pois representam grandes vantagens quer ao nível da facilidade de execução, quer ao nível do comportamento estrutural do edifício. O **LightFloor**, da SERVISTEEL [91], é uma solução integral para pisos. Foram escolhidas duas soluções distintas, uma para lajes de pavimento (Figura 55) e outra para lajes de piso (Figura 56).

LAJE DE PAVIMENTO



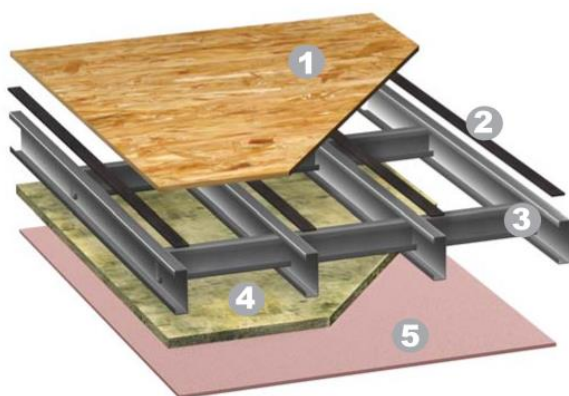
- 1 LÂMINA DE COMPRESSÃO (Malha de distribuição + Microbetão)
- 2 ARGAMASSA ACÚSTICA (Argamassa com aglomerado de cortiça)
- 3 COFRAGEM COLABORANTE (LSF)
- 4 PAINÉL ESTRUTURAL EM AÇO LEVE (LSF)
- 5 MANTA DE LÃ DE ROCHA (Isolamento térmico/acústico - Protecção contra incêndio)
- 6 PLACAS DE GESSO CARTONADO (Acabamento interior - Protecção contra incêndio)

Figura 55 - Detalhe construtivo das lajes de pavimento, [91].

Tabela 21 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica solução paredes leves.

| Material | Condutibilidade térmica | Espessura | Resistência térmica | U [W/(m ² .K)] |
|--------------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|------------------------------|
| | λ [W/(m.°C)] | e [mm] | RT [m ² .°C/W] | |
| Resistência interior | - | - | 0,10 | 0,216 |
| Placa de gesso cartonado | 0,25 | 15 | 0,06 | |
| Lã-de-rocha | 0,035 | 100 | 2,85 | |
| Argamassa acústica | 0,050 | 80 | 1,6 | |
| Revestimento | 0,25 | 2 | 0,008 | |
| Resistência exterior | - | - | 0,04 | |

LAJE DE PISO



- 1 PAINEL OSB III
- 2 ISOLAMENTO ACÚSTICO (Ruídos de percussão)
- 3 ESTRUTURA METÁLICA LIGEIRA
- 4 ISOLAMENTO (térmico/acústico)
- 5 ACABAMENTO INTERIOR

Figura 56 - Detalhe construtivo das lajes de piso, [91].

3.3.5 TETOS FALSOS

A utilização de tetos falsos é uma prática cada vez mais comum, e a sua aplicação nos edifícios proporciona inúmeras vantagens. Um teto falso pode ser muito útil principalmente pela sua flexibilidade, pois permite criar várias combinações de iluminação e também acomodar os sistemas de aquecimento e arrefecimento. Além destas, também melhoram o isolamento térmico e acústico podendo inclusive funcionar como elemento decorativo.

Existem diversas marcas e formas possíveis para os tetos falsos, o que leva à utilização de diferentes materiais e acessórios. Neste edifício, a sua construção recorrerá a sistemas convencionais de tetos em gesso cartonado. A utilização deste género de tetos liberta espaço entre o painel e a zona inferior do piso, permitindo a utilização desse espaço para passagem de tubagens e cablagem.

De seguida, será apresentada uma possível solução para aplicação de tetos falsos, da marca Knauf [92] (Figura 57).

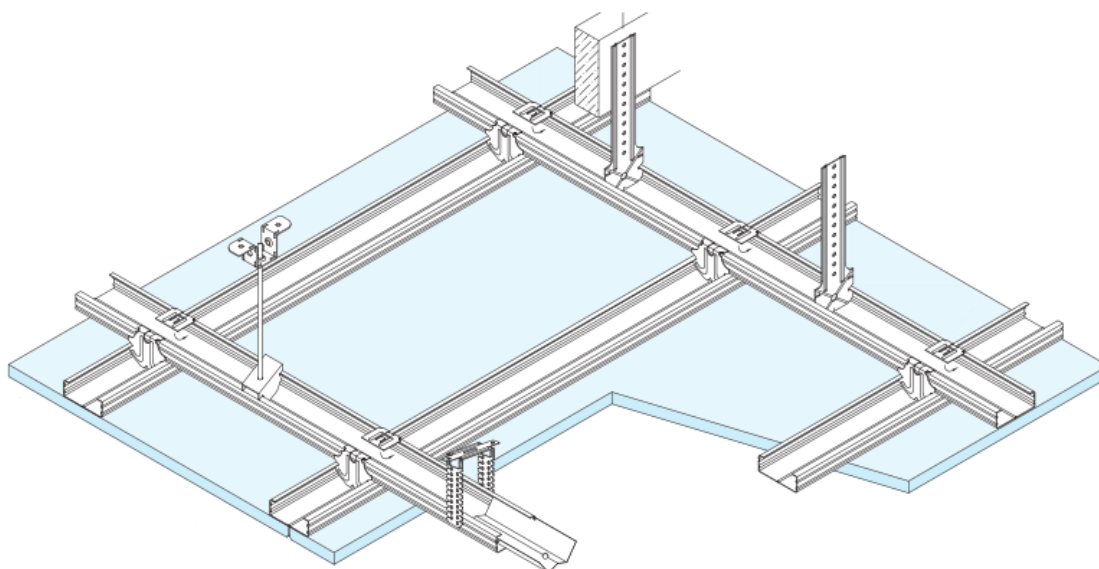


Figura 57 - Esquema montagem do teto falso KNAUF D47, [92].

O sistema apresentado é formado por uma estrutura metálica, na qual se aparafusam uma ou mais placas de gesso cartonado. Os tetos suspensos Knauf podem ser compostos por uma estrutura metálica simples ou dupla, sendo que, na solução acima apresentada a estrutura é dupla, maestras F47/17 nos dois sentidos. A estas são aparafusadas uma ou mais placas de gesso cartonado, cuja espessura e tipo varia em função das características técnicas exigidas ao teto.

Para melhor compreensão deste sistema, a ficha técnica do mesmo encontra-se em anexo (ANEXO IV).

3.3.6 ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados também contribuem para a determinação da transferência energética da envolvente. Neste projeto, é importante o uso de vidros que permitam fazer um adequado controlo solar. Uma vez que, existem fachadas do edifício que são completamente envidraçadas, a escolha dos vãos envidraçados tem um impacto significativo no consumo de energia.

FACHADA

Existem várias soluções no mercado, para fachadas envidraçadas, que vão muito além dos requisitos mínimos de desempenho térmico. A solução escolhida para a fachada superior oeste deste projeto, passa pela aplicação de fachadas de cortina GEODE, da TECHNAL® [93], pois garante um alto rendimento térmico, que permite cumprir as exigências de construção, e proporciona uma ampla gama de opções estéticas a partir de um único sistema. Dentro da gama GEODE, foram selecionadas as de aspeto quadrado (Figura 58).

Uma alternativa contemporânea. A opção de quadro com bites exteriores do sistema GEODE VEP permite criar fachadas de aspecto "quadrado".

Desenho patenteado Technal. Um sistema de fixação patenteado, facilita a instalação dos quadros.

Isolamento. Quadros fixos ou folhas de ruptura da ponte térmica.

Janelas ocultas. As janelas ocultas à italiana, oscilo-batentes e acesso de bombeiros estão disponíveis sem alterar a estética exterior da fachada.



Vidro a seco. Os vidros são montados em fábrica sobre quadros portantes e mantidos pelos bites.

Envidraçamento pelo exterior. Os bites superiores e inferiores são rebitados no quadro fixo a fim de garantir uma segurança suplementar.

Vidros e espessuras. GEODE VEP permite suportar vidros de 6 a 32 mm nas partes fixas e de abrir.

Fachadas planas ou com ângulo. Disponível para fachadas planas ou com ângulo até $\pm 2^\circ$.

Figura 58 – Exemplo e características da fachada de cortina quadrada GEODE, [93].

Os valores utilizados para o coeficiente de transmissão térmica desta solução e outras características, podem ser consultados no excerto do catálogo do fabricante, em anexo (ANEXO V).

PORTAS E JANELAS

A solução escolhida para a porta principal e janelas, passa pela aplicação do sistema de alumínio Eco System®50 (Figura 59), da REYNAERS aluminium [94]. É um sistema de

alumínio de alto desempenho que combina um aspeto estético com eficiência energética a um custo moderado.



Figura 59 – Exemplo de um perfil do sistema de alumínio Eco System®50, [94].

Os valores utilizados para o coeficiente de transmissão térmica desta solução e outras características, podem ser consultados no excerto do catálogo do fabricante, em anexo (ANEXO VI).

3.4 FUNDAÇÕES – ESTRUTURA DE SUPORTE

A grande maioria das construções prevê a construção de um ensoleiramento, geralmente em betão armado. No entanto, devido às características deste projeto, é conveniente adotar outro sistema que permita a colocação e montagem dos módulos no local de obra. Assim, baseado no sistema de construção volumétrica da *enevate* [95], as fundações serão compostas por um elemento de ligação colocado no solo (ver Figura 60) que permite a ligação dos módulos da estrutura de forma simples sem o recurso ao ensoleiramento tradicional.



Figura 60 – Elemento de ligação e fixação da estrutura de suporte ao solo.

Para evitar que o edifício esteja assente diretamente no solo, foi prevista a construção de uma estrutura que permite a criação de uma barreira física de separação, e ao mesmo tempo permita a acomodação das redes de água e saneamento entre outros sistemas que possam vir a ser necessários.

A estrutura será formada por módulos idênticos aos da estrutura principal, de medida exterior aproximadamente 5,20x2,60x0,60 m (Figura 61). A dimensão e configuração final podem variar conforme a disposição dos módulos.

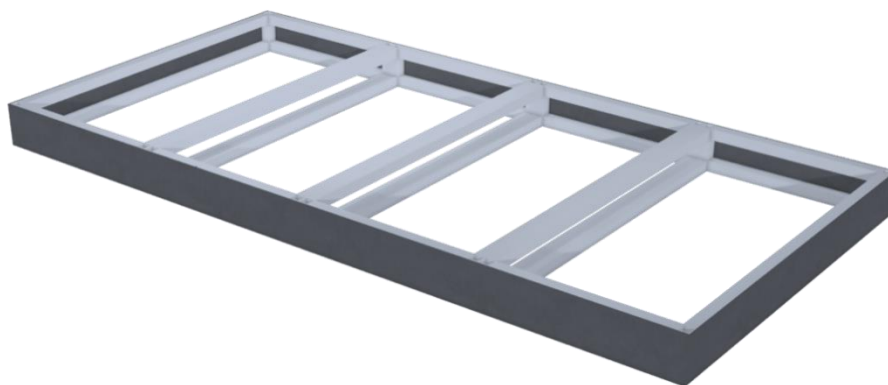


Figura 61 – Fundações - Estrutura de suporte.

3.5 ESTRUTURA PRINCIPAL

O sistema construtivo, compreende estruturas em aço S355 conjugadas com o tipo de construção LSF. A escolha deste sistema, deveu-se sobretudo às vantagens que o mesmo apresenta, e que permitem satisfazer as premissas deste trabalho. O aço S355 utilizado na fabricação da estrutura dos módulos tipo, apresenta excelentes características estruturais, o que lhe confere grande capacidade para suportar o peso da estrutura, com pilares e vigas de menor dimensão que as da construção LSF, permitindo em simultâneo uma fácil conjugação com os restantes sistemas construtivos adotados (paredes, pavimentos, coberturas).

A inclusão do LSF no projeto é fundamental para se atingir os pressupostos de construção pretendidos. A facilidade e rapidez de montagem e transporte dos sistemas para o local de montagem, reduz significativamente o impacto da construção. A juntar a estas, temos também um elevado número de possibilidades de construção no que respeita às soluções para a envolvente opaca.

É importante também esclarecer o processo construtivo do edifício. Devido à solução adotada anteriormente para as fundações, e devido às características do terreno onde está prevista a sua implementação, não são necessárias grandes intervenções para preparação da construção. A estrutura de aço é construída em fábrica, e os módulos serão transportados até ao local, e montados constituindo a forma do edifício. De

seguida o processo construtivo será muito semelhante ao das construções LSF tradicionais, como podemos ver de forma resumida na Figura 62:

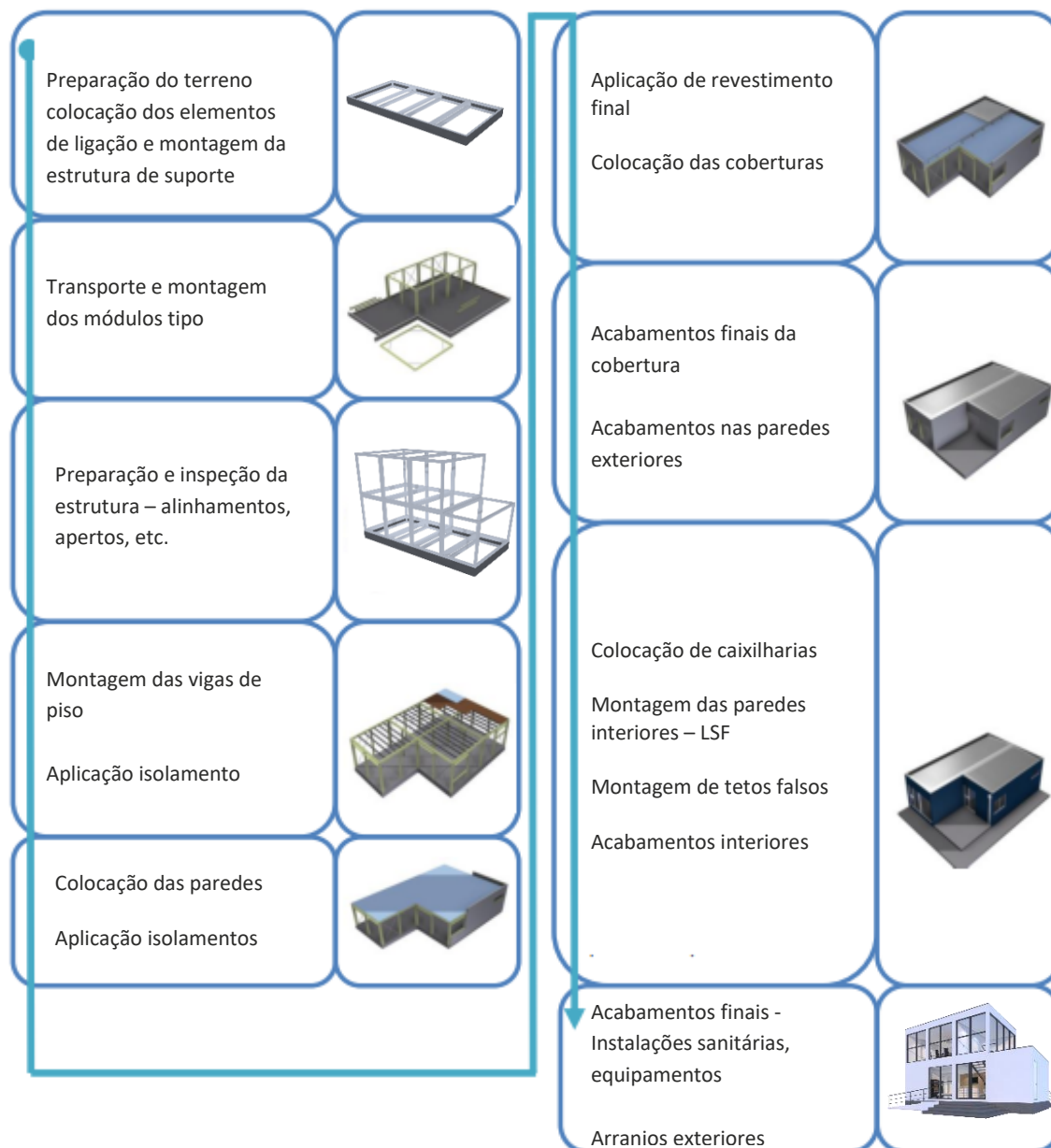


Figura 62 - Resumo do processo construtivo do ZELab, (Adaptado de [96]).

3.5.1 COMPONENTES DO SISTEMA

Tal como referido anteriormente, o conceito base parte da elaboração de um módulo tipo, de configuração retangular, com medida exterior aproximadamente de 5,20x2,60x3,00 m (Figura 63).

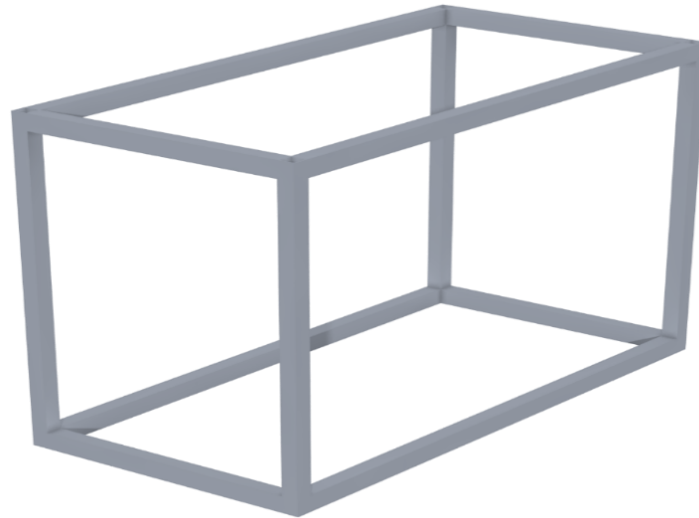


Figura 63 – Estrutura módulo tipo.

A necessidade de acoplação de vários módulos tipo para a construção do edifício, carece de uma solução de montagem que permita uma ligação rápida e de fácil execução. Assim a ligação entre módulos será feita através de vários elementos de ligação, como podemos ver na

Figura 64.

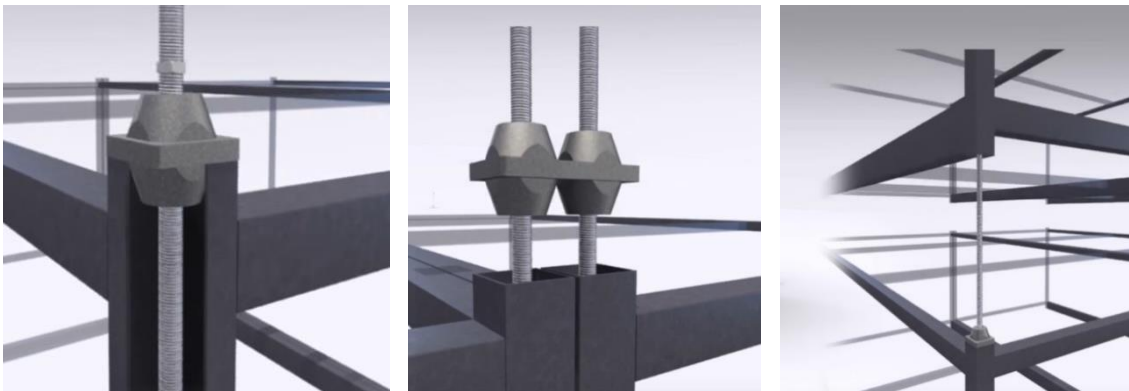


Figura 64 – Elementos de ligação dos módulos.

O facto de o edifício final ser ampliável, permite diversas configurações para a disposição dos módulos. Para a elaboração deste projeto foram utilizados sete módulos como os da Figura 63, os quais depois de devidamente acoplados conferem a forma final pretendida, que podemos observar na Figura 65.

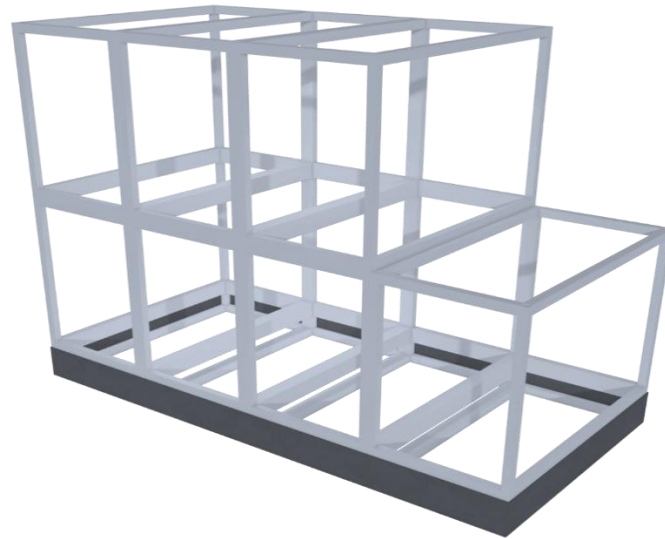


Figura 65 – Configuração final dos módulos.

3.5.2 CONFIGURAÇÃO FINAL

Depois de definida a configuração final dos módulos e completado o processo construtivo, o aspeto final do edifício de serviços de apoio comum, está demonstrado nas Figura 66 a Figura 74.



Figura 66 – Modelo exterior do edifício (vista ascendente).

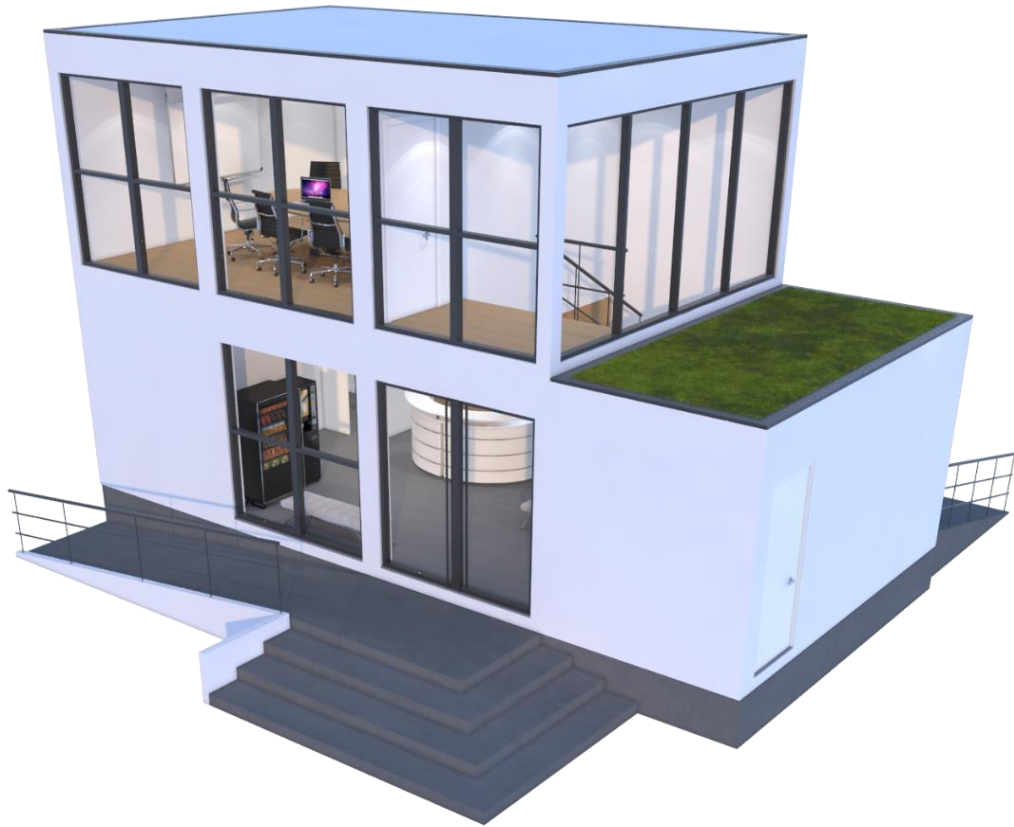


Figura 67 - Modelo exterior do edifício (vista descendente).



Figura 68 – Alçado da fachada principal (Oeste).



Figura 69 – Fachada principal (Vista de corte).



Figura 70 – Alçado da fachada lateral (Sul).



Figura 71 – Interior do edifício - Hall de entrada.



Figura 72 – Interior do edifício - Sala de Reuniões.

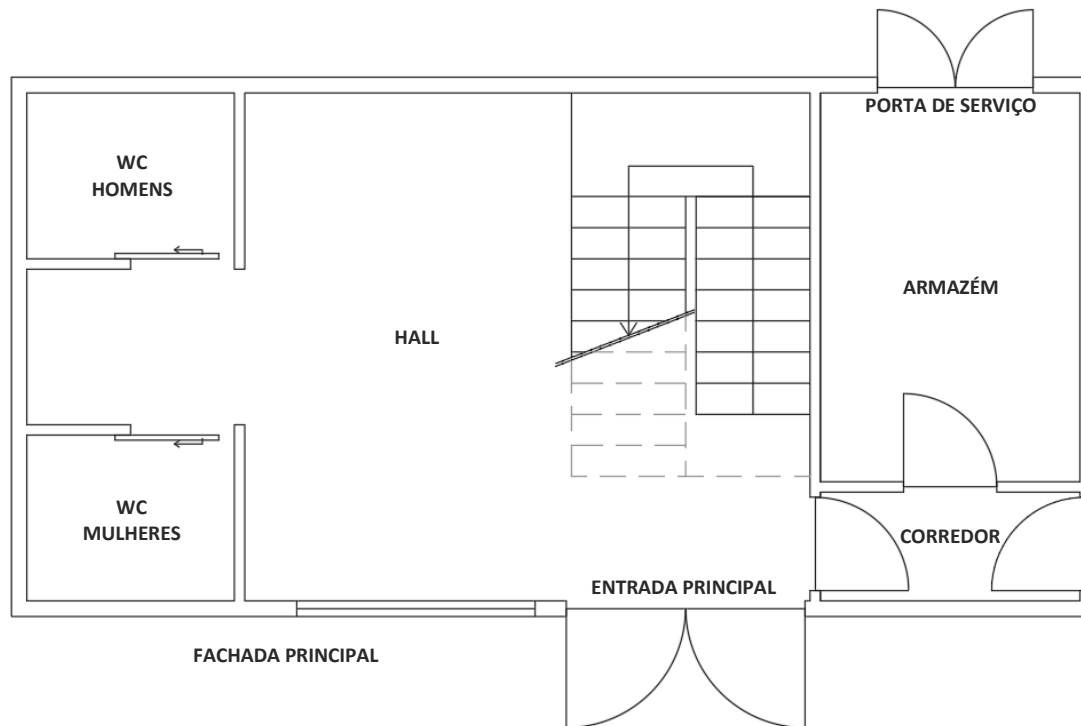


Figura 73 – Planta de Piso 0.

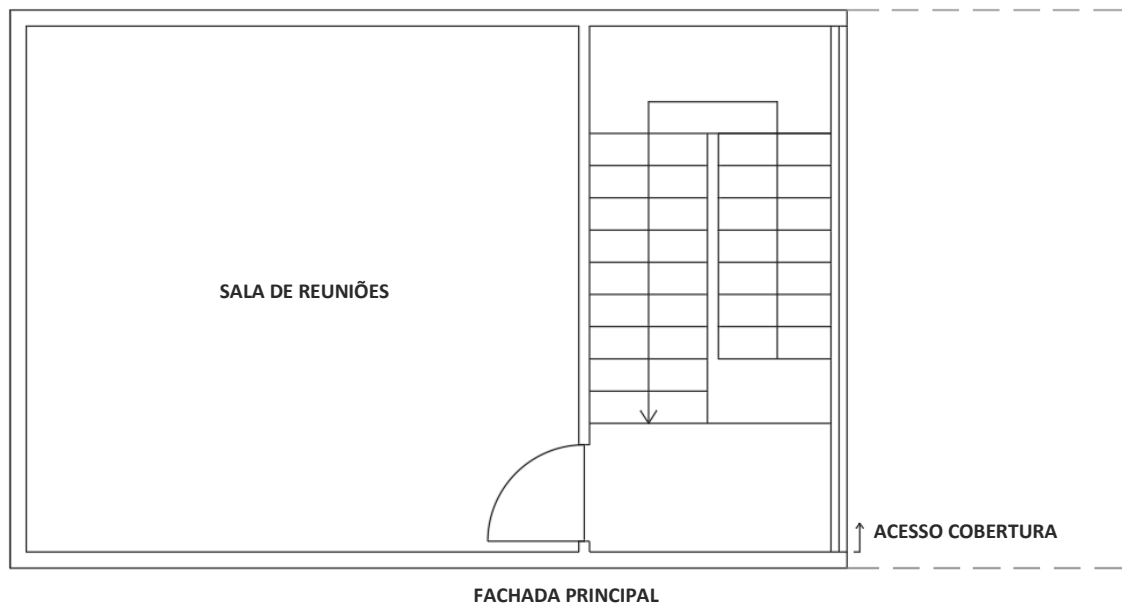


Figura 74 – Planta de Piso 1.

Definida a configuração e materiais estruturais e da envolvente do edifício, estão reunidas as condições para realizar a simulação dinâmica do edifício, o que será o objeto do próximo capítulo.

SIMULAÇÃO DINÂMICA

4.1 CONDIÇÕES BÁSICAS DE CÁLCULO

- 4.1.1 CONDIÇÕES INTERIORES DE CONFORTO
- 4.1.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE AR NOVO
- 4.1.3 ILUMINAÇÃO, EQUIPAMENTOS E OCUPAÇÃO

4.2 INTRODUÇÃO AO HAP

- 4.2.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA
- 4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE
- 4.2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PERFIS DE UTILIZAÇÃO
- 4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS

4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.4 SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO

- 4.4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

4 SIMULAÇÃO DINÂMICA

Durante a fase de projeto é importante prever as cargas térmicas para dimensionar com rigor os sistemas de climatização e estudar o efeito de medidas de melhoria da eficiência energética, nomeadamente a colocação de elementos de sombreamento, a viabilidade da inclusão de energia de fontes renováveis, a adequação da ventilação natural ou de sistemas energéticos alternativos.

A simulação no software HAP (*Hourly Analysis Program*) [97], permite caracterizar e estudar as cargas térmicas em cada espaço do edifício, e dimensionar sistemas para simular a energia utilizada pelos edifícios.

4.1 CONDIÇÕES BÁSICAS DE CÁLCULO

4.1.1 CONDIÇÕES INTERIORES DE CONFORTO

Para o cálculo das necessidades energéticas, tomam-se as seguintes temperaturas do ar interior, capazes de satisfazer as exigências de conforto térmico ambiente.

Como condições de projeto para o Inverno foram consideradas a temperatura exterior igual a 1,9 °C e temperatura interior igual a 20 °C. Para o Verão foram consideradas a temperatura exterior igual a 28,9 °C e temperatura interior igual a 25 °C.

4.1.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CAUDAIS DE AR NOVO

A introdução de ar novo nos espaços advém da necessidade de garantir o fornecimento de oxigénio aos ocupantes, diluir e expelir para o exterior odores e fumos, e arrastar impurezas contidas no ar.

Para o cálculo dos caudais a adotar, recorreu-se ao novo regulamento trazido pelo Decreto de Lei 118/2013 da de 20 de agosto, que aprovou o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). Na determinação das necessidades de ar novo neste edifício, recorreu-se ao método prescritivo descrito na Portaria nº 353-A/2013 [98]. O método baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente gerada pelos ocupantes do espaço e em função do tipo de atividade física (atividade metabólica) aí desenvolvida; e ao próprio edifício e em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário.

Para a escolha do caudal a aplicar recorreu-se às duas tabelas de caudais de ar novo, disponibilizadas na Portaria nº 353-A/2013 (TABELA I.04. e I.05.)

O valor de caudal de ar novo a introduzir nos espaços deve ser corrigido pela eficácia de remoção de poluentes, de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{ANf} = \frac{Q_{ANP} \times N}{\varepsilon_v} \quad [m^3/h]$$

em que,

Q_{ANf} - valor do caudal de ar novo final corrigido da eficácia, [m³/h]

Q_{ANP} - valor do caudal de ar novo, [m³/(h.pessoa)]

N - número de ocupantes

ε_v - valor de eficácia de remoção de poluentes

Os valores de eficácia de remoção de poluentes do sistema de ventilação, para os diferentes métodos de distribuição de ar nos locais, são função, essencialmente, do método de ventilação e da diferença de temperatura entre o ar insuflado e o ar na zona ocupada do espaço, podendo assumir-se para o efeito os valores da Tabela I.01 da Portaria nº 353-A/2013. Considerou-se o valor de 0,8, correspondente a “*Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8 °C acima da temperatura do local, e extração e/retorno pelo teto*”.

DILUIÇÃO DA CARGA POLUENTE DEVIDA AOS OCUPANTES DO ESPAÇO

Em espaços ocupados por pessoas com mais do que um tipo de atividade, a média ponderada do nível de atividade metabólica (M_{med}) deve ser calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$M_{med} = \frac{\sum_i (N_{Mi} \cdot M_i)}{\sum_i N_{Mi}} \quad [met]$$

onde (N_{Mi}) representa o número de pessoas no espaço com um determinado nível de atividade metabólica (M_i).

No *hall*, para o cálculo do M_{med} assumiu-se que 1 pessoa está permanentemente no local, com uma taxa de atividade de 1 met (Descanso) e 4 pessoas como utilizadores temporários do espaço com uma taxa de atividade de 1,2 met (Sedentária).

Tabela 22 – Cálculo da média ponderada do nível de atividade metabólica para o *hall*.

| N_{Mi} | M_i [met] | M_{med} [met] |
|----------|-------------|-----------------|
| 1 | 1 | 1,16 |
| 6 | 1,2 | |

Na área da sala de reuniões, assume-se que tem capacidade para 10 pessoas uma taxa de atividade de 1 met.

Depois de calculados os níveis de atividade metabólica dos espaços com recurso à tabela I.04 da Portaria nº 353-A/2013, consulta-se o valor dos caudais mínimos de ar novo.

Considerou-se o valor de $20 \text{ m}^3/(\text{h.pessoa})$ para a sala de reuniões e $24 \text{ m}^3/(\text{h.pessoa})$ para o *hall*.

Tabela 23 – Cálculo do caudal de ar novo final devido aos ocupantes do espaço.

| Espaço | nº ocupantes | Caudal de ar novo [m ³ /(h.pessoa)] | ε | Caudal de ar novo final [m ³ /h] |
|---------------|--------------|---------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------|
| hall | 7 | 24 | 0,8 | 210 |
| Sala Reuniões | 10 | 20 | 0,8 | 250 |

DILUIÇÃO DA CARGA POLUENTE DEVIDA AOS MATERIAS DO EDIFÍCIO E UTILIZAÇÃO

O valor de caudal mínimo de ar novo do espaço para diluição da carga poluente devida ao próprio edifício e seus materiais e às atividades desenvolvidas resulta da aplicação do previsto na tabela I.05, da Portaria nº 353-A/2013. Sendo os espaços em análise, espaços sem atividades que envolvem a emissão de poluentes específicos, o valor do caudal de ar novo previsto é de $3 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$.

Tabela 24 - Cálculo do caudal de ar novo final devido aos materiais do edifício e a sua utilização.

| Espaço | Área [m ²] | Caudal de ar novo [m ³ /(h.m ²)] | ε | Caudal de ar novo final [m ³ /h] |
|---------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-----|------------------------------------------------|
| hall | 30 | 3 | 0,8 | 112,5 |
| Sala Reuniões | 25 | 3 | 0,8 | 93,75 |

De acordo com o regulamento (RECS) o caudal de ar novo a insuflar é o maior valor entre caudal de ar novo em função da carga de poluentes devido ao edifício e o da carga de poluentes pela ocupação, ou seja, os valores a adotar nesta situação específica devem ser os da ocupação.

NECESSIDADES DE RENOVAÇÃO DE AR

Para espaços com elevados níveis de poluentes, nomeadamente os WC, tem de se assegurar um caudal mínimo de extração. Segundo a tabela I.06, da Portaria nº 353-A/2013, os caudais mínimos de extração de ar para instalações sanitárias públicas, são obtidos pela seguinte expressão:

$$Max(90 \times (n.^{\circ} \text{urinóis} + n.^{\circ} \text{sanitas}); 10 \times A_{pav})$$

Tabela 25 - Cálculo do caudal mínimo de extração dos WCs.

| Espaço | nº sanitas | nº urinóis | Caudal min. extração [m ³ /h] | Área do pavimento [m ²] | Caudal min. extração [m ³ /h] |
|-------------|------------|------------|------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|
| WC homens | 1 | 1 | 180 | 3,2 | 32 |
| WC mulheres | 1 | 0 | 90 | 3,2 | 32 |

O regulamento prevê que se exclua o cumprimento de valores de caudal mínimo de ar novo ou da verificação de condições de adequada ventilação natural em espaços sem ocupação permanente, designadamente, corredores, balneários, instalações sanitárias, arrumos, armazéns, copas e similares ou espaços que são ocupados ocasionalmente e por períodos de tempo inferiores a 2 h por dia [98].

Apesar dos espaços anteriormente descritos não serem abrangidos pelo regulamento, é conveniente assegurar renovações de ar, de modo a garantir a remoção de odores, impedir a acumulação de humidade, entre outros.

No que respeita ao armazém, como se trata de um espaço fechado, e serve stock de produtos para o laboratório, poderá haver materiais inflamáveis ou tóxicos pelo que é pertinente o uso de ventilação forçada para assegurar uma melhor renovação de ar no interior.

Tabela 26 -Renovações por hora mínimas de ar e correspondente caudal nos espaços não climatizados, [99].

| Espaço | RPH | Volume [m ³] | Caudal min. [m ³ /h] |
|----------|-----|--------------------------|---------------------------------|
| Corredor | 2 | 6,25 | 12,5 |
| Armazém | 10 | 23,5 | 235 |

É desejável que os espaços climatizados, se encontrem em sobrepessão quando o sistema de AVAC se encontra em funcionamento, evitando assim infiltrações de ar não climatizado, proveniente de outros espaços do edifício ou do exterior. Para que seja assegurada pressão positiva nesses espaços, deve ser extraído um caudal cerca de 10% inferior ao caudal insuflado.

4.1.3 ILUMINAÇÃO, EQUIPAMENTOS E OCUPAÇÃO

Para o desenvolvimento deste estudo é necessário determinar algumas densidades que irão influenciar o cálculo das cargas térmicas do edifício.

As cargas térmicas geradas no interior do edifício provêm de três fontes distintas: ocupação, equipamentos elétricos e iluminação. É de referir que estes ganhos são considerados úteis durante o inverno, uma vez que reduzem o valor das necessidades de aquecimento, enquanto no verão são indesejáveis, por contribuírem para situações de sobreaquecimento.

ILUMINAÇÃO

Segundo a Portaria nº17-A/2016 [50], a Densidade de Potência de Iluminação (DPI) é dada pela seguinte expressão:

$$DPI = \frac{(P_n + F_O + F_D) + P_C}{A}$$

em que,

P_n - potência total dos sistemas de luminárias instaladas

F_O - fator de controlo por ocupação

F_D - fator de controlo por disponibilidade de luz natural

P_C - potência total dos equipamentos de controlo para as luminárias em funcionamento

A - área interior útil da zona [m²]

As potências dos sistemas de iluminação a instalar nos edifícios de comércio e serviços, não podem exceder os valores indicados pela Tabela I.28 da Portaria nº17-A/2016 [50] (ver Tabela 27).

Tabela 27 – Excerto da Tabela I.28 da Portaria nº17-A/2016, [50]

| Tipo de espaço segundo a função | DPI [(W/m ²)/100 lux] |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Salas de reuniões | 2,4 |
| Armazéns | 3,4 |
| Hall / Entradas, Corredores, Instalações sanitárias | 3,8 |

A CIE (*International Commission on Illumination*) aponta alguns índices de iluminância a garantir em zonas específicas [100]. Na Tabela 28 são apresentados alguns valores de iluminância indicados pela CIE para os espaços existentes no nosso edifício.

Tabela 28 – Índices de iluminância a garantir segundo a CIE, (Adaptado de [100]).

| Espaços | LUX |
|------------------------|-----|
| Hall de Recepção | 200 |
| Armazéns | 300 |
| Sala de Reuniões | 500 |
| Corredor | 100 |
| Instalações sanitárias | 100 |

Para a iluminação dos espaços foram selecionados focos LED de encastrar (Figura 75). A opção pela tecnologia LED deveu-se sobretudo às vantagens que apresenta, a destacar, a sua eficiência energética e o tempo de vida útil.



| Parâmetros técnicos | | |
|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Potência [W] | Luminosidade [Lumens] | Fator de potência (FP) |
| 6 | 450 | 0,90 |
| 10 | 998 | 0,96 |
| 12 | 1220 | 0,92 |

Figura 75 – Parâmetros técnicos das lâmpadas selecionadas, [101].

A Tabela 29 mostra a potência instalada por zona térmica bem como a sua densidade de iluminação.

Tabela 29 – Iluminação instalada por espaço.

| Espaços | Área [m ²] | Brilho [Lumens] | nº lâmpadas | Potência lâmpadas [W] | W/m ² |
|-----------------|------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|------------------|
| Hall - Recepção | 30 | 6000 | 14 | 6 | 2,8 |
| WC H | 3,2 | 320 | 1 | 6 | 1,9 |
| WC M | 3,2 | 320 | 1 | 6 | 1,9 |
| Corredor | 2,5 | 250 | 1 | 6 | 1,7 |
| Armazém | 9,4 | 2820 | 3 | 10 | 3,2 |
| Sala Reuniões | 25 | 12500 | 10 | 12 | 4,8 |

OCUPAÇÃO

A ocupação foi estimada conforme o espaço e a sua utilização. No caso do Hall - Recepção, foi definida uma ocupação de sete pessoas. A sala de reuniões foi projetada para uma ocupação máxima de dez pessoas.

Todo o ser humano emite calor latente e calor sensível, que variam conforme esteja o indivíduo em repouso ou em atividade. Para a introdução dos dados no (HAP), uma vez definido o número de pessoas em cada espaço, é necessário definir qual a tipo de atividade, para o programa calcular os ganhos internos relativos à ocupação.

EQUIPAMENTOS

A utilização dos equipamentos varia consoante a utilização dos espaços. Assim para ter uma ideia dos equipamentos que vamos ter em cada divisão, a Tabela 30 apresenta um resumo dos equipamentos e densidades de carga máximas consideradas para cada um deles.

Tabela 30 - Ganhos internos devido aos equipamentos.

| Divisão | Equipamentos | Qnt. | Pot. Dissipada [W] | Densidade equip. [W/m ²] |
|---------------|---------------|------|--------------------|--------------------------------------|
| Hall | TV | 1 | 200 | 185,3 |
| | Fotocopiadora | 1 | 1100 | |
| | Monitor | 1 | 80 | |
| | Desktop | 1 | 75 | |
| | Maq. Café | 1 | 1050 | |
| | Maq. Vending | 1 | 960 | |
| Sala Reuniões | Projektor | 1 | 350 | 22 |
| | Portátil | 10 | 10x20 | |
| Armazém | Frigorifico | 2 | 2x150 | 32 |

4.2 INTRODUÇÃO AO HAP

A base de cálculo do programa para a determinação das cargas térmicas é feita de acordo com o cálculo da ASHRAE. É de assinalar que neste trabalho só foi analisada a parte opaca da envolvente vertical na zona corrente, ignorando-se a potencialidade de cada solução ao nível da correção das pontes térmicas nas zonas de vãos, vigas, topos de lajes e pilares.

O programa HAP v. 4.9, da *Carrier Corporation* (Figura 76), permite a criação de um modelo virtual com base nos dados introduzidos. Para efeitos de cálculo, apenas os espaços interiores climatizados são contabilizados.

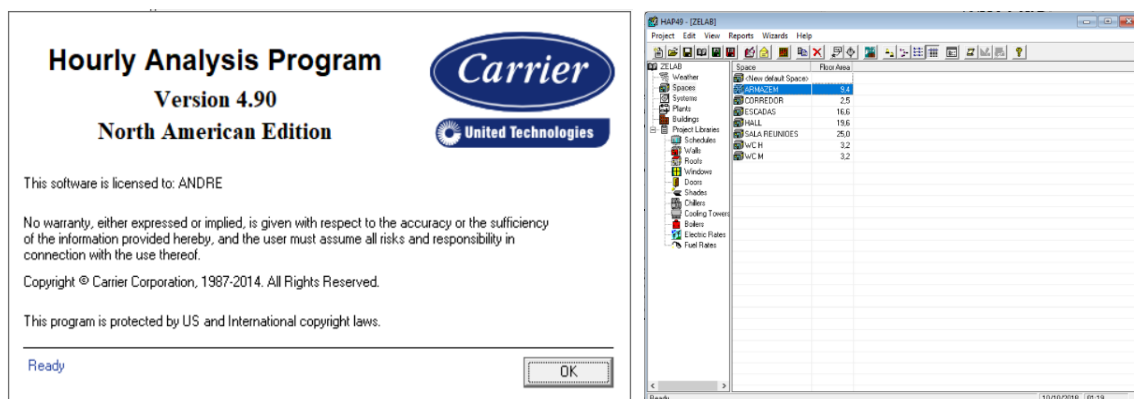


Figura 76 - Programa HAP.

4.2.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A introdução de dados no HAP, inicia-se no menu **“Weather”** (Figura 77) onde serão introduzidos os dados climáticos da localidade onde se encontra o edifício.

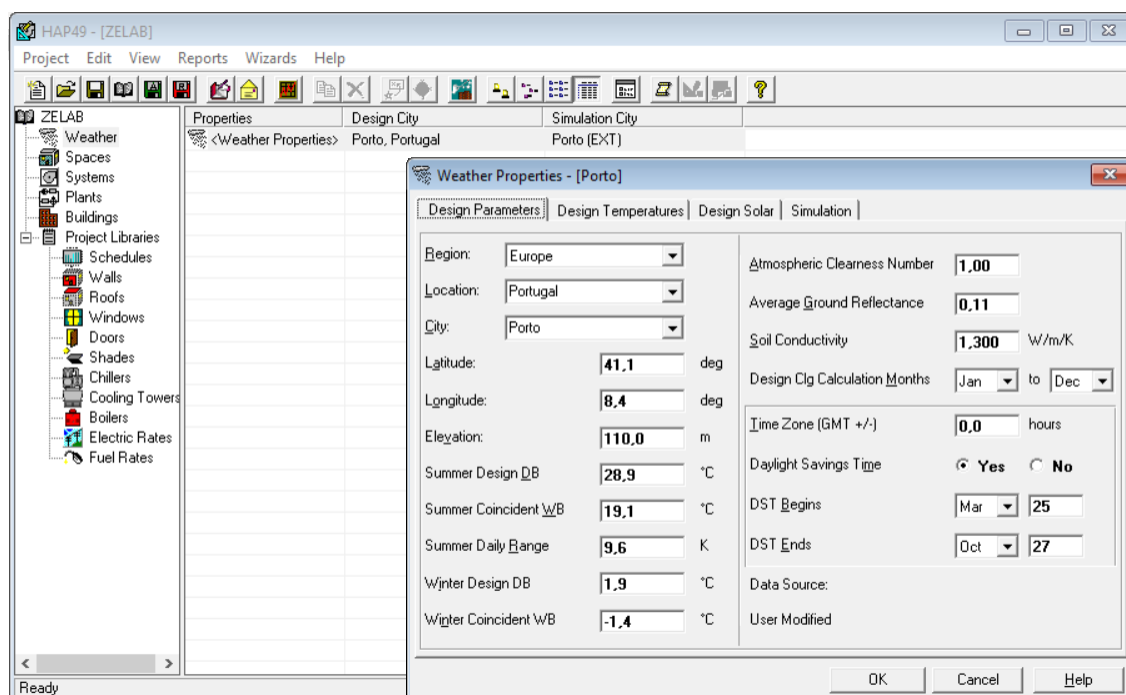


Figura 77 - Menu “Weather” HAP – Parâmetros de projeto.

Dentro do separador **“Design Parameters”**, para este projeto seleciona-se a **Região:** Europa, **Localização:** Portugal e **Cidade:** Porto. Depois de selecionados estes parâmetros, o programa preenche automaticamente os restantes dados. Para que o programa efetue os cálculos corretos para este projeto, os valores gerados podem ser corrigidos. Os parâmetros utilizados para o cálculo são os que aparecem na Figura 77. A temperatura de projeto de verão obteve-se pela consulta do documento das Temperaturas Exteriores de Projeto e Numero de Graus-Dia [102], sendo selecionada a temperatura anual de 28,9 °C (**“Summer Design DB”**) e 19,1 °C (**“Summer Coincident WB”**), com uma taxa de ocorrência de 95%. Para a temperatura de Inverno recorreu-se ao mesmo documento sendo selecionada a temperatura anual de 1,9 °C (**“Winter Design WB”**), com uma taxa de ocorrência de 2,5%.

No separador seguinte, **“Design Temperatures”**, as temperaturas geradas pelo programa não são as mais adequadas, uma vez que, são dados antigos que não tem em conta a subida das temperaturas médias nas cidades europeias, pelo que é necessário corrigir essas temperaturas (Figura 78).

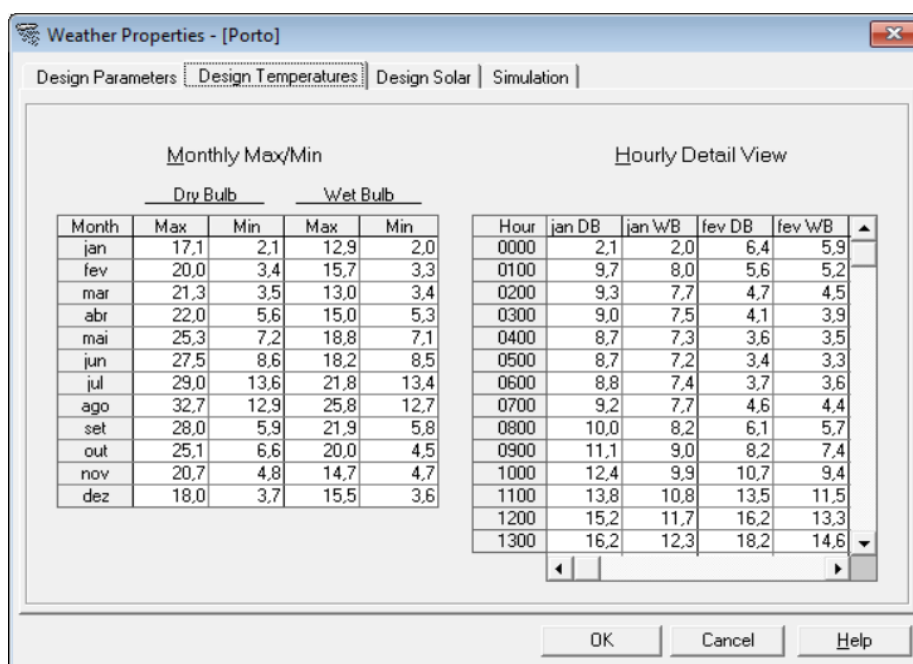


Figura 78 – Temperaturas corrigidas.

4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE

Depois de definidos os parâmetros de projeto, é necessário fazer uma caracterização da envolvente. A envolvente térmica do edifício é composta por barreiras que limitam espaços interiores do ambiente exterior e pelas partições interiores que limitam espaços climatizados dos não climatizados. Estas barreiras são constituídas por paredes, janelas, portas, tetos e pisos. Neste edifício existem dois tipos de paredes (exteriores e interiores), dois tipos de janelas, dois tipos de portas, uma laje de pavimento e uma laje de piso.

A introdução de toda a informação relativa aos constituintes da envolvente, é feita no HAP através dos menus **“Walls”**, **“Roofs”**, **“Windows”** e **“Doors”** (Figura 79).

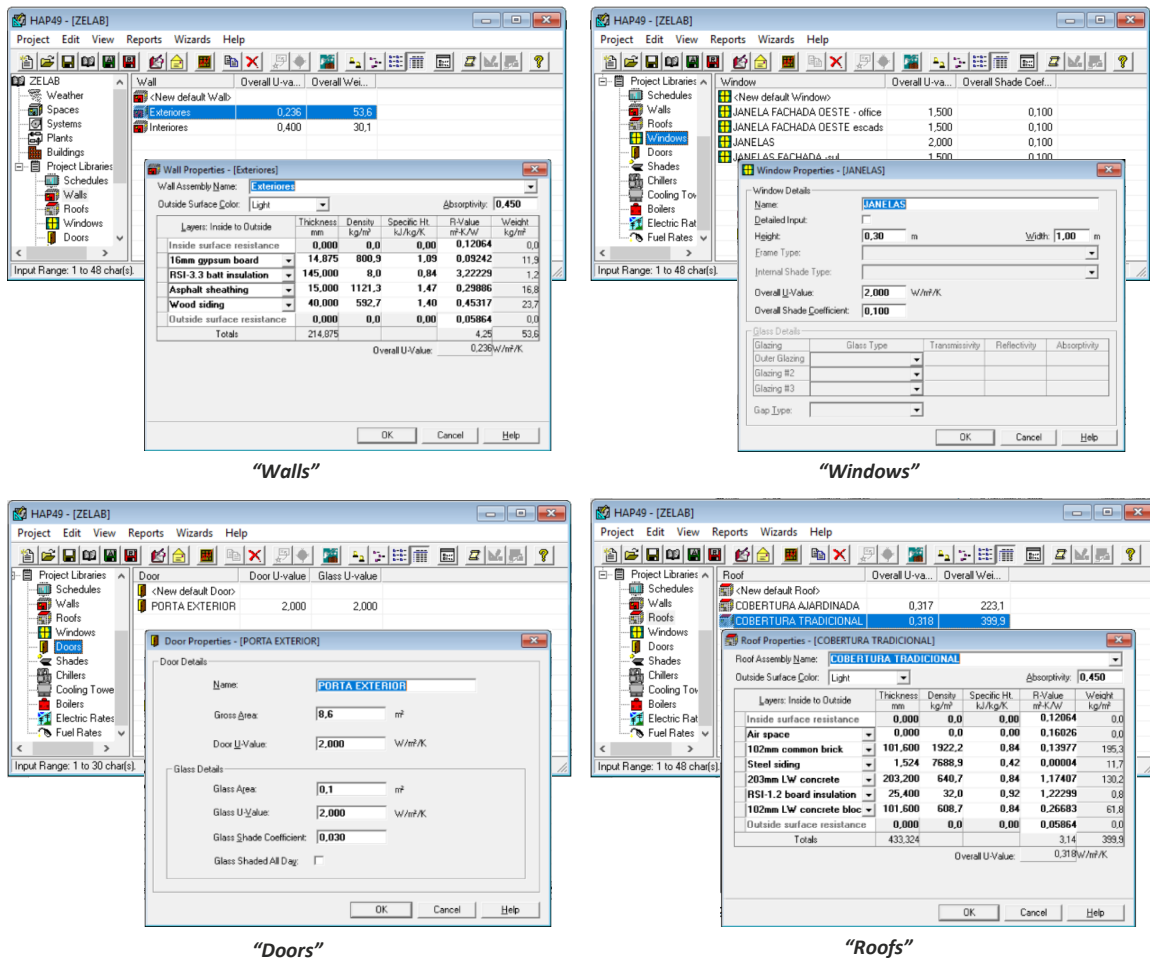


Figura 79 – Menus HAP – caracterização da envolvente.

Os dados para preenchimento do programa são referentes às soluções adotadas e descritas no subcapítulo 3.3.

4.2.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PERFIS DE UTILIZAÇÃO

Par a determinação das potências necessárias, é importante definir o tipo de utilização que os espaços irão ter. Para introduzir essa informação no HAP utiliza-se o menu **"Schedules"** (Figura 80). Este menu permite inserir as cargas de utilização para o edifício, que estão divididas por utilização de equipamentos elétricos, iluminação e ocupação.

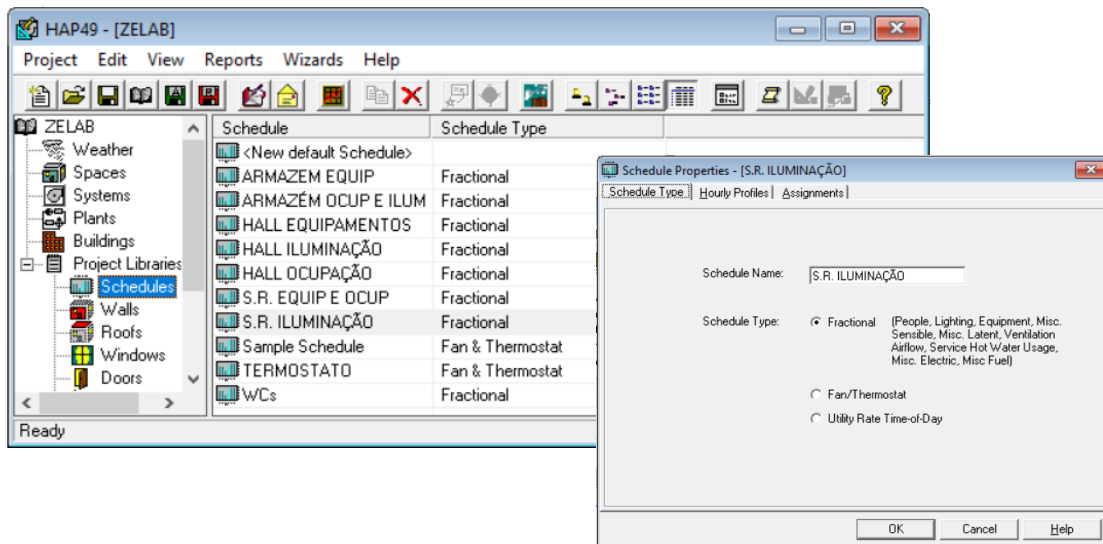


Figura 80 – Menu “Schedules” HAP.

No separador “**Schedule Type**” é possível dar o nome do perfil que se está a definir. De seguida no separador “**Hourly Profiles**” (Figura 81), são introduzidos os dados das cargas e os horários das mesmas.

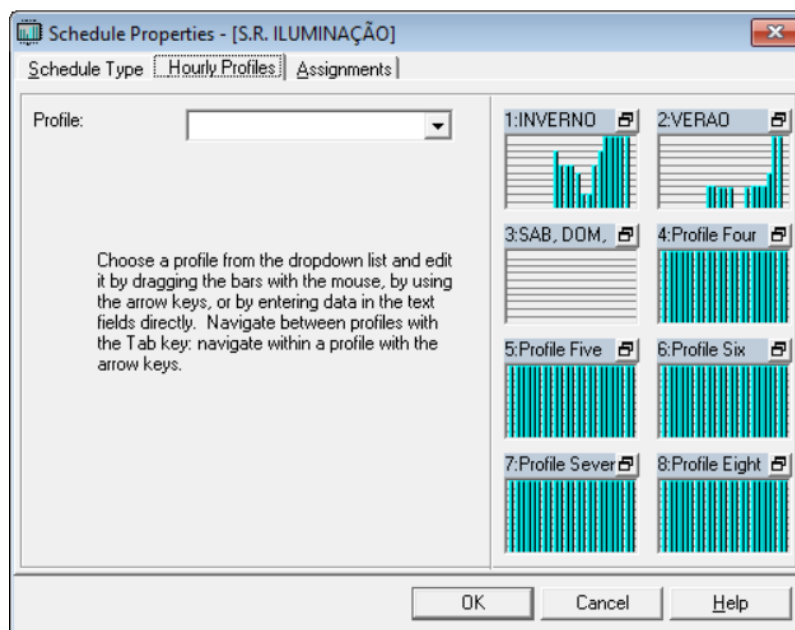


Figura 81 - Separador “Hourly Profiles” do menu “Schedules”.

As cargas de utilização são apresentadas de forma gráfica através de seleção de uma percentagem para um determinado horário. Neste projeto foram definidos perfis de utilização para as cargas de iluminação, de equipamento e ocupação, diferenciados por espaços.

Os horários e respetivas cargas (em percentagem) são introduzidos no separador “**Assignments**” (Figura 82). Estes dividem-se em vários perfis, um perfil referente a dias da semana, outro para dias de fim-de-semana, férias e feriados, podendo também no

caso da iluminação criar perfis para Verão e Inverno, devido às condições de iluminação exterior.

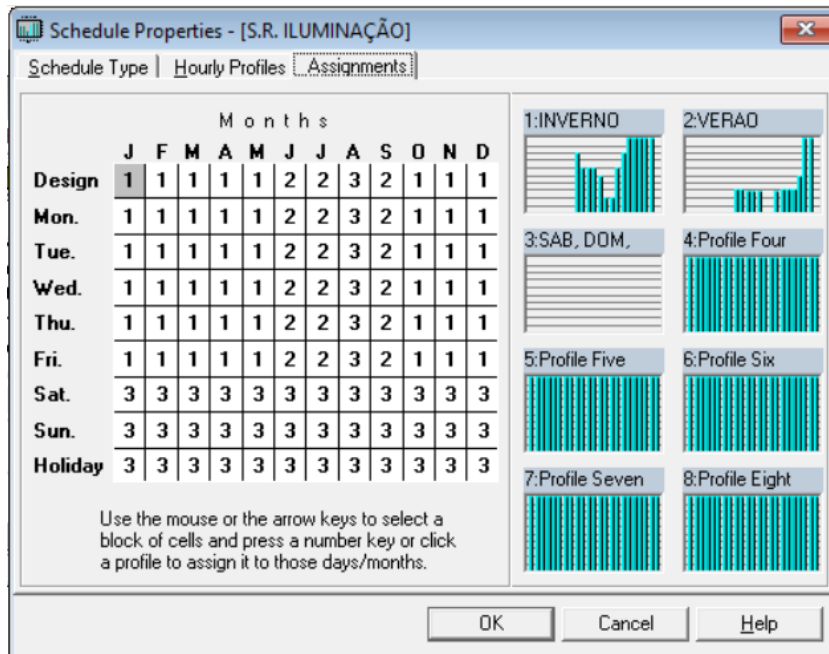


Figura 82 - Separador "Assignments" do menu "Schedules".

4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS ESPAÇOS

Depois de definidas as envolventes e os perfis de utilização no programa, é necessário caracterizar os espaços. Nesta fase serão inseridos os equipamentos, as cargas de iluminação, as envolventes e os caudais de ventilação para cada espaço criado.

A introdução dos espaços no HAP é feita através do menu "**Spaces**" (Figura 83). No caso destes estarem ligados ao mesmo sistema de climatização, os espaços definem-se como "**zones**".

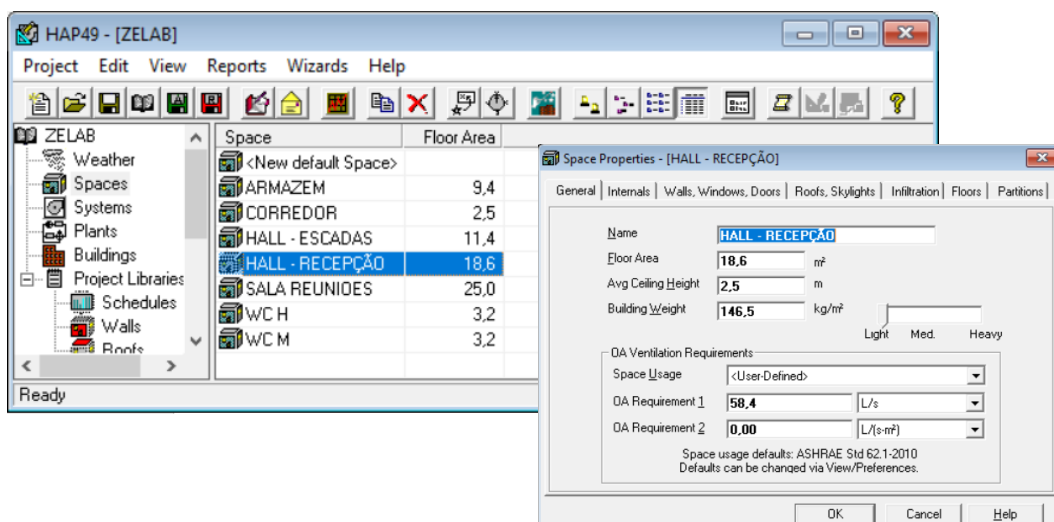


Figura 83 – Menu "Spaces" HAP.

Cada espaço representa uma divisão do edifício e é possível fazer a caracterização dos vários elementos como paredes, coberturas, janelas, que promovem a transferência de calor para o exterior.

No separador inicial, “**General**”, começamos por definir as dimensões do espaço, a inércia térmica e os caudais de ventilação.

O RCCTE define três classes de inércia, sendo elas: forte, média e fraca. Em geral, as construções em sistema LSF situam-se na classe de inércia fraca. Tal deve-se ao facto de a inércia térmica depender diretamente da massa dos elementos construtivos que se situam do isolamento térmico para o interior do edifício e a solução em LSF utiliza apenas elementos de baixa massa.

Passando ao separador seguinte, “**Internals**” (Figura 84), são introduzidos os valores das cargas referentes à iluminação, ocupação e geradas pelos equipamentos elétricos, com os respetivos perfis de utilização.

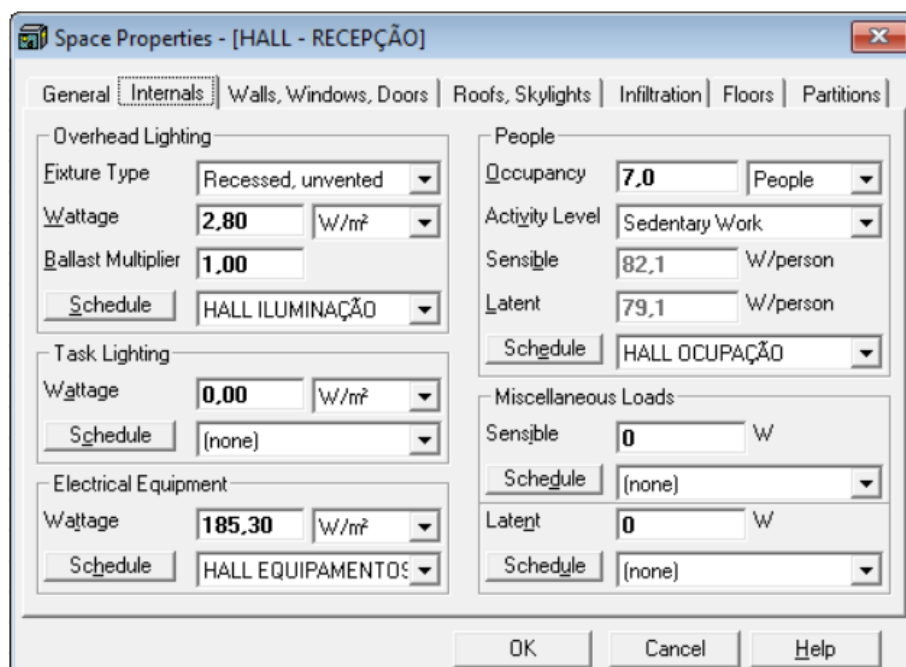


Figura 84 – Separador “Internals” do menu “Spaces”.

As envolventes de cada sala definem-se nos separadores “**Walls, Windows, Doors**”, “**Roofs, Skylights**”, “**Floors**” e no separador “**Partitions**”. No separador “**Walls, Windows, Doors**”, caracterizam-se as envolventes em contacto com o espaço exterior. É indicada a sua orientação, a área, o tipo de parede, bem como portas, sombreamentos e janelas no caso de existirem.

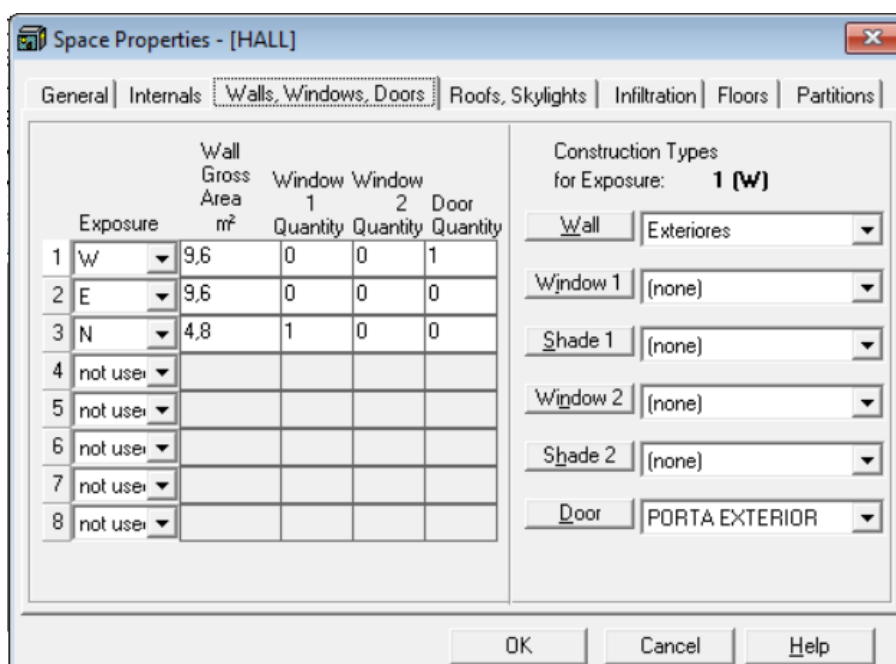


Figura 85 – Separador “Walls, Windows, Doors” do meu “Spaces”.

Os tetos são inseridos no separador “**Roof, Skylights**”, onde é indicada a orientação de exposição do teto, neste caso é horizontal, a área, o tipo de teto e se possui ou não claraboias. Neste projeto não é previsto o uso de claraboias e existem dois tipos de cobertura de tetos, uma tradicional e uma ajardinada.

As infiltrações que resultam da passagem de ar em torno dos vãos e pela abertura e fecho de portas, promovem perdas de calor. O menu “**Infiltrations**”, permite o cálculo das cargas sensíveis e latentes trazidas ou retiradas dos espaços. Contudo, se assumirmos que o sistema de ventilação do edifício se encontra ligado, os espaços climatizados estão em sobrepressão e não ocorre infiltração de ar proveniente do exterior através da envolvente. Assim, podemos desprezar estes valores.

O separador “**Floors**” (Figura 86) serve para definir o pavimento da sala, no entanto não define a sua estrutura, por este motivo o pavimento para as salas foi definido no subcapítulo 3.3.4. Na definição do tipo de pavimento, no caso da Sala de Reuniões, como se trata de um espaço sobre um outro espaço climatizado, selecionando a opção “**Floor Above Conditioned Space**” não é necessário o preenchimento de nenhum parâmetro. Os restantes espaços encontram-se sobre um espaço não climatizado, pelo que, selecionando a opção “**Floor Above Unconditioned Space**”, é necessário preencher os dados deste separador com o coeficiente de transmissão térmica do pavimento, a área da fronteira com o espaço não climatizado. É também necessário definir a temperatura máxima do espaço não climatizado (“**Unconditioned Space Max Temp.**”) e do espaço climatizado (“**Ambient Space Max Temp.**”), bem como, a temperatura mínima do espaço não climatizado (“**Unconditioned Space Min Temp.**”) e do espaço climatizado (“**Ambient Space Min Temp.**”).

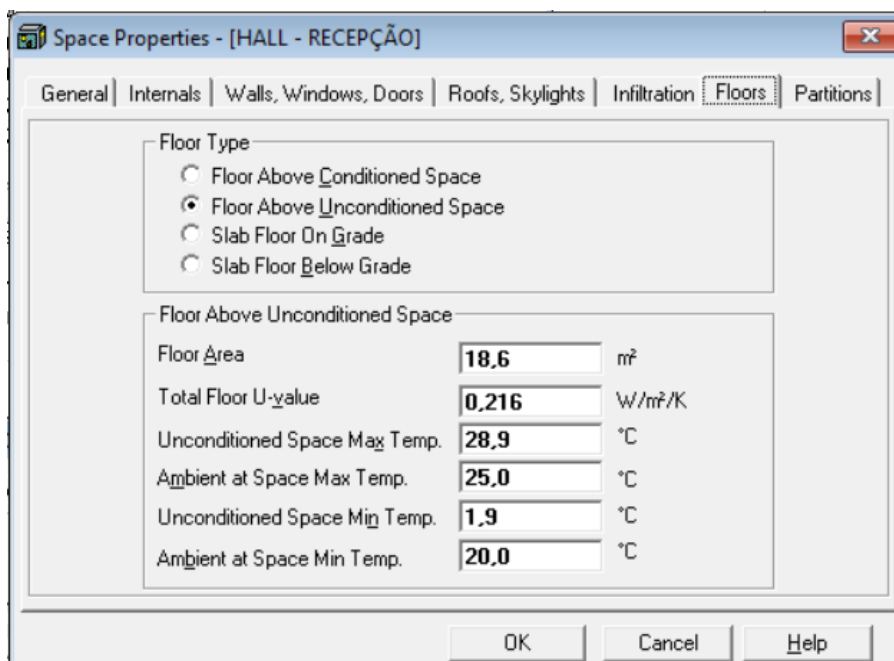


Figura 86 - Separador "Floors" do meu "Spaces".

Nos espaços que estão em contacto com a estrutura da fundação, como por exemplo o Hall, considerou-se que a temperatura do espaço não climatizado, como sendo igual à temperatura ambiente exterior, tendo assim como temperatura máxima 28,9 °C e mínima 1,9 °C.

Para completar a introdução dos dados relativos aos espaços no HAP, é preenchido o separador "**Partitions**" (Figura 87). Este permite determinar a influência que os espaços não climatizados adjacentes têm sobre o nosso espaço, através do cálculo das perdas de carga e ganhos pelas paredes ou tetos.

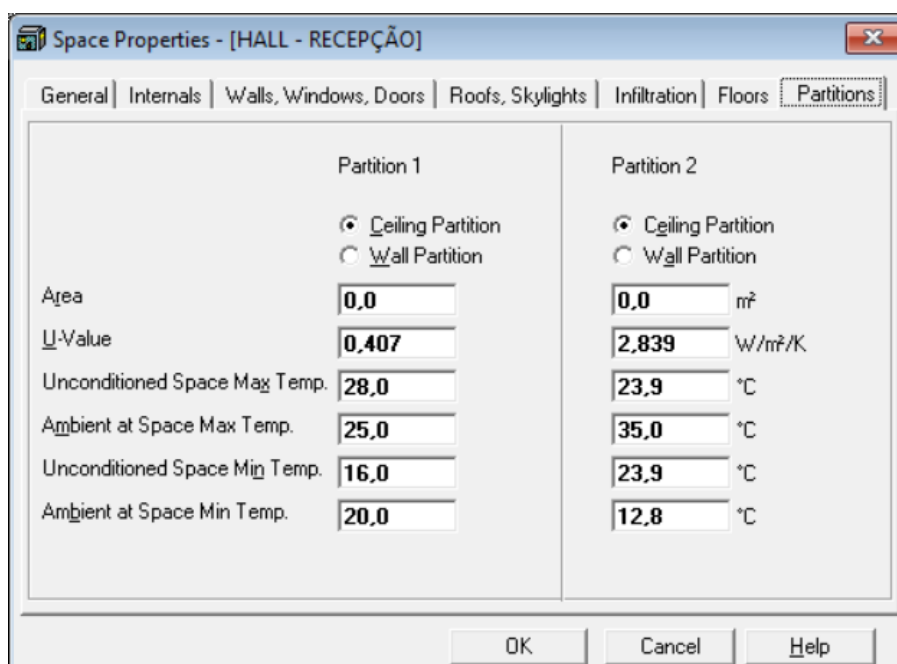


Figura 87 - Separador "Partitions" do meu "Spaces".

Neste separador introduz-se a informação referente à fronteira entre o espaço não climatizado e climatizado. No caso de existir essa fronteira, é necessário inserir os dados da dimensão e coeficiente de transmissão térmica da parede ou teto e as temperaturas de ambos os espaços à semelhança do separador **“Floors”**.

No caso do Hall (exemplo utilizado), encontram-se em contato com espaços não climatizados (WCs e Corredor), no entanto, devido ao facto destes espaços terem uma área reduzida e serem áreas de extração que recebem ar proveniente do Hall, faz com que sejam indiretamente climatizadas, não havendo necessidade de definir o separador **“Partitions”**.

4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Serve o presente subcapítulo para apresentar os resultados da simulação dinâmica multizona efectuada para o edifício desenvolvido neste projeto.

Na simulação podemos obter um vasto conjunto de resultados, no entanto para o âmbito deste trabalho, os resultados pretendidos são as cargas totais de aquecimento e as cargas totais de arrefecimento.

No software HAP, utilizou-se a geometria e soluções construtivas do edifício apresentadas anteriormente e obtiveram-se resultados de todas as horas do ano, para as três zonas consideradas (Hall, Sala de Reuniões e Armazém).

Com base nos relatórios da simulação (ANEXO VI) apresentam-se na Tabela 31 de forma resumida os resultados obtidos das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento para os espaços climatizados do edifício.

Tabela 31 – Cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento dos espaços.

| Zona | Descrição | Carga de Arref. Sensível [W] | Carga Arref. Latente [W] | Carga Arref Total [kW] | Pico | Carga Aquec. Total [W] | Carga Aquec. Total [kWh] |
|------|------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|
| 1 | Hall | 3843 | 554 | 4,4 | Julho 14h00 | 1345 | 1,35 |
| 2 | Sala de Reuniões | 1595 | 601 | 2,20 | Julho 18h00 | 670 | 0,67 |
| 3 | Armazém | 385 | 67 | 0,45 | Julho 17h00 | 277 | 0,28 |

As cargas térmicas de arrefecimento contabilizam os ganhos pela envolventeno e no interior do edifício, que provém de três fontes distintas: Ocupação, Equipamentos e Iluminação.

A Tabela 32 apresenta a distribuição das cargas térmicas de arrefecimento por zonas do edifício, de forma a que seja perceptível quais os fatores que mais contribuem para a carga térmica.

Tabela 32 – Distribuição da carga térmica de arrefecimento por zonas.

| Zona | Carga térmica [W] | | | | |
|------|-------------------|--------------|------------|----------|--------------|
| | Envolvente opaca | Envidraçados | Iluminação | Ocupação | Equipamentos |
| 1 | 93 | 321 | 39 | 921 | 3023 |
| 2 | 58 | 420 | 31 | 1176 | 511 |
| 3 | 33 | 0 | 14 | 105 | 301 |

A elevada carga térmica de arrefecimento da zona 1 quando comparada com as restantes, é na sua maioria provocada pelos equipamentos ($\approx 70\%$). Os elevados ganhos provocados pelos equipamentos deve-se ao facto de ter sido considerado, para efeito de cálculo, a potência máxima dos mesmos e também devido ao perfil de utilização adoptado para os equipamentos.

Relativamente à ocupação, é na zona 2 que se verifica o maior ganho, cerca de 54%. O perfil de ocupação nesta zona do edifício tem um grande impacto no valor da carga térmica, uma vez que, para efeitos de cálculo se considerou que o espaço estava durante o período de utilização sempre na sua capacidade máxima.

Nos envidraçados, devido á elevada exposição solar, dada a sua orientação (sul e oeste), e também ao facto de não ser contemplado nenhum sistema de sombreamento e o fator solar do vidro ser considerado o máximo admissível para a zona climática em questão, os ganhos são, logo a seguir aos equipamentos e à ocupação, os que mais contribuem para o aquecimento do edifício.

Já no que diz respeito à iluminação e à envolvente opaca, os valores de carga térmica não têm um grande impacto no valor final, o que nos leva a concluir que as soluções adotadas nestes dois casos se revelaram boas soluções de projeto.

4.4 SISTEMAS E EQUIPAMENTOS DE CLIMATIZAÇÃO

Depois de completado o estudo das necessidades do edifício, torna-se necessário dimensionar um sistema de climatização, que garanta as condições necessárias de conforto, tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento.

Os sistemas AVAC a instalar nos edifícios de comércio e serviços, devem cumprir com princípios de dimensionamento, requisitos gerais independentes do tipo de sistema instalado, requisitos específicos para os subsistemas de produção e distribuição de energia, em função do tipo de sistema ou equipamento e respetivas características técnicas, e requisitos de controlo, regulação e monitorização, conforme descrito no ponto 5, Anexo I, da Portaria n.º 17-A/2016, de 4 de fevereiro [50].

Uma vez que neste trabalho só foi abordado um módulo do edifício, não será feito o dimensionamento dos sistemas AVAC, pois o mesmo deve ser feito tendo em conta as necessidades de todo o edifício. No entanto, serão descritos neste subcapítulo alguns dos sistemas e equipamentos de climatização.

4.4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS

FUNÇÃO DA ÁREA

Os sistemas de climatização, de acordo com a área a climatizar, podem ser classificados como sistemas centralizados ou individuais.

Entende-se por sistema centralizado, um sistema que serve a totalidade ou pelo menos uma grande parte do edifício. Neste tipo de sistemas existe um elemento produtor, que se encontra normalmente instalado numa área técnica do edifício, e a climatização dos espaços é assegurada a partir de um circuito primário que transporta o fluido térmico desde o equipamento até aos espaços a climatizar.

Por sua vez, um sistema individual é na realidade um aparelho ou conjunto de aparelhos distintos, servindo apenas um espaço do edifício ou, no máximo, um número muito reduzido de espaços. É um sistema no qual o sistema produtor normalmente não se encontra instalado em áreas técnicas, mas em áreas mais próximas dos espaços a climatizar, onde seja possível a sua instalação. O sistema individual ou unitário são os aparelhos compactos e os aparelhos "splits".

FUNÇÃO DO FLUÍDO TÉRMICO

a) Sistemas tudo-ar

Nestes sistemas, o ar é acondicionado e filtrado numa unidade de tratamento de ar, e o calor ou o "frio" são transportados por intermédio de condutas até aos locais a climatizar.

Estes sistemas encontram-se subdivididos por sistemas de conduta simples e sistemas de dupla conduta. Os sistemas de dupla conduta são sistemas constituídos por duas condutas, onde uma é responsável pelo transporte do fluido "frio" e a outra responsável pelo fluido "quente" que posteriormente são misturados numa caixa de mistura para obter as condições desejadas, e os de conduta simples, onde o ar é transportado nas condições desejadas por uma única conduta.

Os sistemas de conduta simples podem ainda ser divididos em:

- sistema VAC (Volume de Ar Constante). Neste sistema o caudal insuflado é constante, variando a temperatura de insuflação do ar.
- sistema VAV (Volume de Ar Variável). Neste sistema a temperatura do caudal insuflado é constante, variando o caudal de ar insuflado.

Este tipo de instalações necessita de uma área de passagem de condutas elevada e existe dificuldade de correta insuflação em diferentes condições, pelo que, é adequado para edifícios onde não se verifique grande variação de cargas térmicas, uma vez que não permite o controlo de temperatura individual em cada divisão.

b) Sistemas tudo-água

Nestes sistemas, a energia utilizada para compensar as cargas térmicas, é transportada por um fluido térmico até aos locais a climatizar. Neste caso, a energia é dissipada por equipamentos terminais existentes em cada local (exemplo: ventiloconvetores), selecionados de acordo com as cargas térmicas previstas.

As conceções mais usuais de transporte de energia são nomeadamente, os sistemas com dois tubos, e sistemas com quatro tubos.

No sistema de dois tubos, o calor ou o "frio" são transportados por um fluido térmico (geralmente água) até aos ventiloconvetores nos locais a climatizar, permitindo apenas aquecimento ou arrefecimento de todas as zonas. Já os sistemas de quatro tubos, permitem a circulação de calor e "frio", o que faz com que possa ser feito o aquecimento e arrefecimento simultâneo de diferentes zonas.

Uma das grandes vantagens deste tipo de sistemas é a possibilidade de controlo individual, no entanto não permite o controlo da qualidade do ar nem o total controlo da humidade do ar.

c) Sistemas ar-água

Nos sistemas "ar-água", os dois fluidos são utilizados como fluidos térmicos. O calor e o "frio" são transportados pelo fluido térmico até aos equipamentos terminais nos locais a climatizar, existindo simultaneamente um tratamento do ar a insuflar (e eventualmente aquecimento e arrefecimento). Desta forma, permitem o controlo da qualidade do ar e da humidade do ar.

d) Sistemas de expansão direta

Um sistema de expansão direta é um sistema de refrigeração onde o fluido refrigerante (fonte fria) se expande quando entra em contato com o fluxo de ar do ambiente a climatizar (fonte quente). Esta expansão refere-se ao processo de evaporação do fluido refrigerante no interior da serpentina evaporadora do equipamento, a qual absorve o calor contido no fluxo de ar que passa pelo equipamento promovendo assim o seu aquecimento/arrefecimento.

Os equipamentos associados a este tipo de sistemas, são por exemplo: splits, multi-splits, VRV's, rooftop, entre outros.

Em pequenas habitações, escritórios, ou locais onde apenas se deseja a climatização de uma divisão, utilizam-se habitualmente sistemas *split*. Numa situação em que se deseja

climatizar mais do que uma divisão, será indicado um sistema *multi-split*. A maioria dos sistemas do tipo *split* é do tipo reversível, pelo que é um equipamento que tem a capacidade de funcionar para aquecimento e arrefecimento. Os sistemas do tipo *split*, são sistemas que possuem uma máquina exterior a alimentar apenas uma única unidade interior, enquanto que, nos sistemas do tipo *multi-split*, a máquina exterior tem capacidade para alimentar várias unidades, geralmente até um máximo de cinco máquinas.

Para edifícios maiores, este tipo de sistemas apresenta algumas limitações, isto porque a instalação da tubagem entre o condensador e o evaporador excede os limites aconselhados para um correto funcionamento do mesmo.

Nestes casos os sistemas mais usuais, são os sistemas de volume de refrigerante variável (VRV). Ao contrário dos sistemas *multi-split*, estes permitem a ligação a muitas máquinas interiores, o que faz com que seja possível a climatização centralizada de um grande edifício, por inteiro.

O princípio de funcionamento dos sistemas VRV é semelhante aos sistemas individuais e do tipo *multi-split* com a vantagem de poder adotar uma configuração de três tubos, ao invés de dois tubos, para realizar o aquecimento e o arrefecimento em simultâneo se necessário.

CONCLUSÕES

5.1 CONCLUSÕES

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Foi objetivo desta dissertação a contribuir para o desenvolvimento de um laboratório modular NZEB (*ZELab*) através do projeto de um módulo para as áreas de apoio comum. Para o efeito, neste trabalho procedeu-se inicialmente à recolha de informações, desde a definição e evolução do conceito de NZEB e o enquadramento legal deste tipo de construções, passando pelos processos, tecnologias e materiais que permitiram tornar os edifícios sustentáveis.

Assim, a elaboração deste projeto permitiu aprofundar conhecimentos relativos aos conceitos de construção sustentável e construção modular, eficiência energética em edifícios, entre outros tópicos relevantes para o projeto.

Com base nas informações recolhidas, foi proposto um processo construtivo modular. No entanto, apesar das vantagens evidentes inerentes a este tipo de construção, existem ainda algumas barreiras, por exemplo, associadas ao transporte. De forma a contornar essas barreiras optou-se pela utilização de um módulo tipo, composto por uma estrutura de aço. Esta conceção estrutural permite a acoplação de módulos mediante as necessidades de utilização, com relativa facilidade e rapidez na execução, reduzindo os desperdícios de materiais e permitindo a sua reciclagem ou reutilização no final do ciclo de vida do projeto.

Assim, obteve-se um edifício de dois pisos com uma área útil de aproximadamente 75 m², com a fachada principal orientada a oeste, constituído por vários espaços, sendo eles, um espaço para armazenamento dos materiais do laboratório, uma sala de reuniões e uma área comum, composta pelo hall e as casas de banho.

O módulo tipo e as soluções construtivas adotadas para o edifício, são uma das múltiplas possibilidades que este projeto pode assumir, pelo que alteração ou adição de módulos, deve ser devidamente estudada e analisada.

Importa ainda referir, que para o edifício estudado atingir um melhor desempenho e poder ser considerado como um NZEB, devem ser previstas alterações de melhoria, como a possibilidade integração de medidas de design passivo e a utilização de fontes de energia renovável, como por exemplo painéis solares (este tópico estava previsto para outro trabalho).

Relativamente ao estudo térmico efetuado, foi possível concluir que a ferramenta de simulação (HAP) foi essencial para determinar as cargas térmicas necessárias para aquecimento e arrefecimento dos espaços. Desta forma ficamos com uma ideia clara da eficiência das soluções adotadas, para que de futuro possam ser afinados determinados parâmetros. As necessidades térmicas do edifício, também permitem determinar quais as potências necessárias para os equipamentos de climatização.

Tal como referido inicialmente, a realização de um projeto desse tipo, dada a sua complexidade, deve ser abordada por uma equipa multidisciplinar, capaz de dar resposta especializada a cada uma das solicitações específicas.

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Dando continuidade aos temas discutidos ao longo desta dissertação, podem apontar-se diversos temas para trabalhos futuros.

Tendo por base o estudo realizado, relativamente à conceção estrutural, seria importante fazer uma análise mais aprofundada do edifício, tanto a nível da resistência das estruturas como a nível de design.

Por outro lado, outras das medidas que se propõe é a análise de custos, que permita avaliar a influência dos materiais utilizados, tendo em conta todo o seu ciclo de vida, bem como prever a utilização de novas soluções ativas e passivas de melhoria da eficiência energética e da capacidade de autossuficiência do edifício.

Um outro estudo poderá ser relativo à criação de um plano de projeto e gestão. Aqui seria de todo pertinente, um manual de utilização do edifício, que permita aos utilizadores aprender a utilizar o edifício de forma inteligente. Também seria importante abordar o tema da gestão de resíduos e manutenção das infraestruturas, bem como os custos associados.

Um dos temas que não foi abordado, e também seria importante, é a análise das necessidades energéticas, onde possam ser contabilizados os consumos de um determinado módulo tipo. Esta análise pode ainda abranger um estudo do nível de eficiência dos equipamentos colocados, a sua rentabilidade e poupança associada num determinado período. Um outro estudo pode ser uma análise do ciclo de vida do projeto.

Uma vez que o local previsto para a implementação do *ZELab*, funciona como parque de estacionamento, a construção do edifício implica que o parque deixará de existir. Como tal, é necessário arranjar soluções. Uma vez que ainda haverá algum espaço disponível em redor do edifício, e dada a sua natureza, pode-se considerar que este projeto contemple um sistema de alimentação para veículos elétricos. Outras das soluções seria a criação de uma rede universitária de transportes, que permitiria à comunidade utilizadora deixar o carro em casa ou num outro local e utilizar esses transportes para se deslocarem para o *campus*.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] DGEG, “Renováveis - estatísticas rápidas - nº157 - novembro de 2017.”
- [2] Filipa Cardoso, “Edifícios e Energia - NZEB: Uma definição incompleta para um conceito em evolução,” 2016. [Online]. Available: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/noticia/nzeb-uma-definicao-incompleta-para-um-conceito-em-evolucao2607>. [Accessed: 01-Feb-2018].
- [3] “PORDATA - Consumo de energia final: total e por tipo de sector consumidor.” [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Europa/Consumo+de+energia+final+total+e+por+tipo+de+sector+consumidor-1397>. [Accessed: 05-Jun-2018].
- [4] J. de Jesus Ferreira, “Artigo de opinião sobre o Sistema Nacional de Certificação Energética (Parte I).” [Online]. Available: <https://www.voltimum.pt/artigos/eficiencia-energetica-nos-edificios-33>. [Accessed: 01-Aug-2018].
- [5] “O futuro hoje: Edifícios NZEB,” 2015. [Online]. Available: <http://prelis.pt/nzeb-nearly-zero-energy-buildings/>. [Accessed: 06-Feb-2018].
- [6] “O futuro chama pelos NZEB, edifícios com necessidades energéticas quase nulas — idealista/news.” [Online]. Available: <https://www.idealista.pt/news/decoracao/conselhos/2016/07/25/31172-o-futuro-chama-pelos-nzeb-edificios-com-necessidades-energeticas-quase-nulas>. [Accessed: 07-Feb-2018].
- [7] Bernard Tulsì, “MODULAR LABS GOING MAINSTREAM,” 2010.
- [8] S. Attia, “A Tool for Design Decision Making - Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates,” 2012.
- [9] O. Parlamento, E. E. O, C. Da, and U. Europeia, “DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação).”
- [10] P. Hernandez and P. Kenny, “From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB),” *Energy Build.*, vol. 42, no. 6, pp. 815–821, 2010.
- [11] “Jornadas de Climatização Ordem dos Engenheiros,” 2011.
- [12] A. J. Marszal and P. Heiselberg, “Zero Energy Building (ZEB) definitions – A literature review,” *Aalborg Univ.*, 2009.
- [13] A. J. Marszal *et al.*, “Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies,” *Energy Build.*, vol. 43, pp. 971–979, 2011.
- [14] P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, and D. Crawley, “Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition,” 2006.
- [15] “DIRECTIVA 93/76/CEE DO CONSELHO,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, vol. 7771,

- no. 11, pp. 134–34, 1977.
- [16] “DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *J. Of. das Comunidades Eur.*
- [17] “DIRECTIVA 2009/28/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *J. Of. da União Eur.*, no. 1.
- [18] “DIRECTIVA 2009/125/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *J. Of. da União Eur.*
- [19] O. Parlamento, E. E. O, C. Da, and U. Europeia, “DIRECTIVA 2010/31/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO,” *J. Of. da União Eur.*
- [20] Parlamento Europeu e do Conselho, “Diretiva 2012/27/UE,” *J. Of. da União Eur.*, pp. 1–56, 2012.
- [21] Catarina Gonçalves, “Eficiência Energética nos edifícios e adaptação às Alterações Climáticas,” 2015.
- [22] Ministério da Obras Públicas Transportes e Comunicação, “Decreto N.º 40/90, de 6 de Fevereiro - Aprovação do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios,” *Diário da República*, vol. 1.ª série, no. 31. pp. 490–504, 1990.
- [23] A. Nunes, D. P. Moura, E. Maria, and A. M. De Oliveira, “Decreto-Lei n.º 118/98 regulamento dos sistemas energéticos de climatização dos edifícios,” *Diário da República*, pp. 4206–4207, 1998.
- [24] Ministério Da Economia E Da Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República*, vol. 67, pp. 2–6, 2006.
- [25] Ministério das Obras Públicas, “O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.º 79/2006,” *Diário da República*, no. 4 de Abril, p. 53 (2416-2468), 2006.
- [26] “Decreto-Lei n.º 80/2006,” *Diário da República*, pp. 2468–2513, 2006.
- [27] R. Gaspar and P. P. Coelho, “Decreto-Lei n.º 118/2013,” *Diário da República*, no. 2, p. 22, 2013.
- [28] B. M. L. Oliveira and F. P. Craveiro, “Eficiência Energética de Edifícios,” 2007.
- [29] “FINANÇAS, TRABALHO, SOLIDARIEDADE E SEGURANÇA SOCIAL E SAÚDE,” *Diário da República*, vol. 1.
- [30] “Ecocasa.” [Online]. Available: https://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=91. [Accessed: 05-Jul-2018].
- [31] “BREEAM - world’s leading sustainability assessment method for masterplanning projects, infrastructure and buildings.” [Online]. Available: <https://www.breeam.com/>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [32] “CASBEE - Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency.”

- [Online]. Available: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [33] “SBTool - International Initiative for a Sustainable Built Environment.” [Online]. Available: <http://www.iisbe.org/sbmethod>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [34] “LEED - Leadership in Energy and Environmental Design.” [Online]. Available: <https://new.usgbc.org/leed>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [35] Cole and R.J., “Building environmental performance assessment criteria, BEPAC.” National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (United States), 31-Dec-1994.
- [36] “HQE - Haute Qualité Environnementale.” [Online]. Available: <https://www.behqe.com/>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [37] “LiderA – Sistema de avaliação da sustentabilidade.” [Online]. Available: <http://www.lidera.info/>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [38] “Net-Zero Energy, High-Performance Green Buildings Federal R&D Agenda for Net-Zero Energy, High-Performance Green Buildings Report Final Version,” 2008.
- [39] M. Khasreen, P. F. Banfill, and G. Menzies, “Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review,” *Sustainability*, vol. 1, no. 4, pp. 674–701, Sep. 2009.
- [40] “Carbon Neutral and Net Zero | BetterBricks.” [Online]. Available: <http://archive.is/viqlq>. [Accessed: 12-Mar-2018].
- [41] J. Gavião, “Como deve ‘parecer’ um edifício eficiente?”
- [42] R. Comini *et al.*, “Eficiência energética nos edifícios residenciais - Manual do Consumidor.”
- [43] “Passivhaus Institut.” [Online]. Available: <https://passiv.de/>. [Accessed: 30-Sep-2018].
- [44] “Despachos 15793-2013,” *Diário da República*.
- [45] “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013,” *Diário da República*.
- [46] H. Gonçalves and J. M. Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. 2004.
- [47] F. Simões, “revestimentos de paredes e isolamento térmico isolamento e inércia.”
- [48] ADENE, “10 Soluções Eficiência Energética - Isolamento de Paredes,” 2016.
- [49] “Portaria n.º 349-B/2013.”
- [50] “Portaria n.º 17-A/2016.”
- [51] “APCOR – Fachada.” [Online]. Available: <https://www.apcor.pt/produtos/construcao-e-decoracao/construcao->

- civil/fachada-material-de-construcao/. [Accessed: 02-Jun-2018].
- [52] “Dossier técnico-económico: Fachadas Ventiladas,” 2006.
- [53] “Pareti Ventilata - CIPA GRES Ceramiche SPACIPA GRES Ceramiche SPA.” [Online]. Available: <http://www.cipagres.it/per-professionisti/pareti-ventilate/?lang=es>. [Accessed: 04-Jun-2018].
- [54] A. & Pérez-Urrestarazu, Luis; Fernández-Cañero, Rafael; Franco-Salas and E. Gregorio, “Vertical Greening Systems and Sustainable Cities,” *J. Urban Technol.*
- [55] P. Perini, Katia; Rosasco, “Building and Environment - Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems,” vol. 70, pp. 110–121, 2013.
- [56] A. M. Kenneth Ip, Marta Lam, “Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy.”
- [57] ADENE, “10 Soluções Eficiência Energética - Isolamento de Coberturas,” 2016.
- [58] “ANCV Green Roofs.” [Online]. Available: <http://www.greenroofs.pt/>. [Accessed: 19-Jul-2018].
- [59] A. J. F. Vaz, D. Ferreira, E. Luso, and S. Fernandes, *Manual BIOURB : Manual para a conservação e reabilitação da diversidade bioconstrutiva*. 2013.
- [60] “Green Roof Layers.” [Online]. Available: <https://blogdaengenharia.com/um-pouco-de-verde-sobre-o-cinza/green-roof-layers/>. [Accessed: 19-Jul-2018].
- [61] “Windows and Glazing | WBDG Whole Building Design Guide.” [Online]. Available: <http://www.wbdg.org/resources/windows-and-glazing?r=psheating>. [Accessed: 16-Jul-2018].
- [62] “Poupa Energia - A Eficiência tem classe.” [Online]. Available: <https://poupaenergia.pt/classe-mais/>. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [63] ADENE, “10 Soluções Eficiência Energética - Proteções Solares,” 2016.
- [64] M. Silva and J. Palhinha, “SISTEMAS DE SOMBREAMENTO EM ARQUITECTURA: PROPOSTA DE UM NOVO MÉTODO DE CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO,” Universidade Técnica de Lisboa - Arquitectura, 2009.
- [65] S. D. Santos Palma, “Sistemas Avançados de Iluminação Natural: Estudo Comparativo de Vidros Prismáticos, Laser-Cut Panels e Channel Panels,” Universidade Técnica de Lisboa - Arquitectura, 2009.
- [66] P. Mendonça, “Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados.”
- [67] “Harnessing the environment for building ventilation.”
- [68] F. Vidigal, “Arrefecimento evaporativo de ambientes e elementos construtivos,” Universidade Nova de Lisboa, 2014.
- [69] “REGULAMENTO (UE) 2017/1369 DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO - de 4 de julho de 2017,” *J. Of. da União Eur.*

- [70] ADENE, *Manual da Etiqueta Energética*. .
- [71] S. Pless and P. Torcellini, "Net-Zero Energy Buildings: A Classification System Based on Renewable Energy Supply Options," 2010.
- [72] "Decreto-Lei nº 153/2014 de 20 de outubro," *Diário da República*.
- [73] ADENE, "10 Soluções Eficiência Energética - Sistemas Solares Térmicos," 2016.
- [74] "Sunaply - Energias Renováveis - Solar Térmico (Painéis para aquecimento de água)." [Online]. Available: <http://www.sunaply.pt/solar.php>. [Accessed: 29-Aug-2018].
- [75] "Solair - Solar Air-Conditioning." [Online]. Available: <http://solair-project.eu/>. [Accessed: 30-Aug-2018].
- [76] J. Farinha Mendes, "PRODUÇÃO DE FRIO COM ENERGIA SOLAR."
- [77] ADENE, "10 Soluções Eficiência Energética - Sistemas Solares Fotovoltaicos," 2016.
- [78] "As tecnologias e eficiências das células fotovoltaicas – Microgeração Fotovoltaica." [Online]. Available: <https://microgeracaofv.wordpress.com/2016/09/10/as-tecnologias-e-eficiencias-das-celulas-fotovoltaicas/>. [Accessed: 01-Sep-2018].
- [79] "Energia eólica - Desenvolvimento sustentável - InfoEscola." [Online]. Available: <https://www.infoescola.com/tecnologia/energia-eolica/>. [Accessed: 03-Sep-2018].
- [80] J. Lapa, C. Cardoso, and A. Figueiredo, "ORDEM DOS ENGENHEIROS -Sistemas Geotérmicos Superficiais-Aplicações em Edifícios e Infraestruturas," 2017.
- [81] "Energia Geotérmica : Energias Renováveis." [Online]. Available: <https://energiasalternativas.webnode.com.pt/energias-renovaveis/energia-geotermica/>. [Accessed: 03-Sep-2018].
- [82] M. Lawson, "Building design using modules," *New Steel Construction*, no. 15(9). pp. 1–16, 2007.
- [83] D. H. Gonçalves *et al.*, "Edifício SOLAR XXI - Um edifício energeticamente eficiente em Portugal."
- [84] H. Erhorn and H. Erhorn-Kluttig, "Selected examples of Nearly Zero-Energy Buildings," 2014.
- [85] "VELUXlab – Active House." [Online]. Available: <https://www.activehouse.info/cases/veluxlab/>. [Accessed: 17-Sep-2018].
- [86] "Decreto-Lei n.º 132/2017 de 11 de Outubro," *Diário da República*.
- [87] C. A. Pina dos Sanros and L. Matias, "ITE50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios," 2006.
- [88] "Construindo com LSF." [Online]. Available: <https://estudioara.com.br/light->

- steel-frame/. [Accessed: 26-Sep-2018].
- [89] “Deck - ROCKWOOL.” [Online]. Available: <http://www.rockwool.es/productos-soluciones/cubiertas/cubierta-plana/deck/>. [Accessed: 28-Sep-2018].
- [90] “Riesgo cero en cubierta metálica - Soluciones para cubierta Deck y Engatillada - ROCKWOOL.”
- [91] “Servisteel - lightFloor.” [Online]. Available: https://www.servisteel.pt/SITE_2/lightFloor.htm. [Accessed: 28-Sep-2018].
- [92] “Knauf - Teto Suspenso Contínuo D47/55/70.” [Online]. Available: <https://www.knauf.pt/sistemas/tetos/continuos/tetos-suspendidos-d47-d50-d80.html>. [Accessed: 27-Sep-2018].
- [93] “GEODE - Fachada de Cortina Criativa.”
- [94] “REYNAERS - Eco System 50.” [Online]. Available: <https://www.reynaers.pt/pt-PT/instaladores/products/es-50>. [Accessed: 29-Sep-2018].
- [95] “Enevate Modular Construction and Steel Framing Systems.” [Online]. Available: <https://www.enevate.co.uk/>. [Accessed: 09-Oct-2018].
- [96] J. Almeida Costa, “CONSTRUÇÃO PREFABRICADA – ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA PREFABRICAÇÃO NAS VÁRIAS ETAPAS DO PROCESSO CONSTRUTIVO,” FEUP, 2013.
- [97] “Hourly Analysis Program HVAC System Design Software.” [Online]. Available: <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/>. [Accessed: 19-Oct-2018].
- [98] “Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro.”
- [99] G. Para, “Instalações de AVAC - Especificações técnicas para ACSS Unidade de Instalações e Equipamentos.”
- [100] “RNAE - ILUMINAÇÃO INTERIOR.”
- [101] “Iluminação LED para Encastrar - efectoLED.” [Online]. Available: <https://www.efectoled.com/pt/95-comprar-iluminacao-led-para-encastar/?uis=1&order=position:asc>. [Accessed: 11-Oct-2018].
- [102] J. Casemiro Mende, M. Rita Guerreiro, C. A. Pina dos Santo, and J. A. Vasconcelos de Paiva, *Temperaturas Exteriores de Projeto e Numeros de Graus - Dias*. 1989.
- [103] “Dimensões e pesos máximos dos veículos - Apcmc.” [Online]. Available: <http://www.apcmc.pt/legislacao/dimensoes-pesos-maximos-dos-veiculos/>. [Accessed: 20-Sep-2018].

ANEXOS

7 ANEXOS

7.1 ANEXO I – CÁLCULOS DE DETERMINAÇÃO DA ZONA CLIMÁTICA

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência X_{REF} para cada NUTS III e ajustados com base na altitude desse local, z .

As correções de altitude, são do tipo linear, com declive a , proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência (z_{REF}) para a NUTS III, segundo a seguinte expressão:

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (1)$$

Como vimos anteriormente, a altura do local onde o edifício será construído, z , é 110 m.

- **Estação de aquecimento**

Os parâmetros climáticos que devem ser considerados para esta estação, são os seguintes:

- **GD** – Número de graus-dias, na base de 18 °C, correspondente à estação convencional de aquecimento;
- **M** – Duração da estação de aquecimento;
- $\theta_{ext,i}$ – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento;
- **G_{Sul}** – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/m².mês].

Os valores de referência e declives para ajustes em altitude, para a região do Grande Porto, estão tabelados por NUTS III, como podemos ver na Figura 88.

| | z | | M | | GD | | $\theta_{ext,i}$ | | G_{Sul} kWh/m ² por mês |
|--------------|-----|--|----------|--------|-----------|-------|------------------|-------|---------------------------------------------------------|
| | REF | | REF | a | REF | a | REF | a | |
| | m | | meses | mês/km | °C | °C/km | °C | °C/km | |
| Grande Porto | 94 | | 6,2 | 2 | 1250 | 1600 | 9,9 | -7 | 130 |

Figura 88 – Excerto da Tabela NUTS III, com os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de aquecimento, no Grande Porto.

$$\mathbf{GD} = 1250 + 1600(0.110 - 0.094) = 1275.6 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{dia} \quad (\mathbf{GD} \leq \mathbf{1300} - \mathbf{ZONA I1})$$

$$\mathbf{M} = 6.2 + 2(0.110 - 0.094) = 6.232 \text{ meses}$$

$$\mathbf{\theta}_{ext,i} = 9.9 - 7(0.110 - 0.094) = 9.788 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{G}_{Sul} = 130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$$

- **Estação de arrefecimento**

Os parâmetros climáticos que devem ser considerados para esta estação, são os seguintes:

- L_v – Duração da estação = 4 meses = 2928 horas;
- $\Theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média , [°C];
- I_{sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²]

Os valores de referência e declives para ajustes em altitude, para a região do Grande Porto, estão tabelados por NUTS III, como podemos ver na Figura 89.

| | z REF m | $\Theta_{ext,v}$ | | I_{sol} | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------------------|-------|---------------------------------------------------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|--|
| | | REF | a | kWh/m ² acumulados de junho a setembro | | | | | | | | | |
| | | °C | °C/km | 0° | 90° N | 90° NE | 90° E | 90° SE | 90° S | 90° SW | 90° W | 90° NW | |
| Grande Porto | 94 | 20,9 | 0 | 800 | 220 | 350 | 490 | 490 | 425 | 490 | 490 | 350 | |

Figura 89 - Excerto da Tabela NUTS III, com os valores de referência e declives para ajustes em altitude para a estação de arrefecimento, no Grande Porto.

$$\Theta_{ext,v} = 20.9 - 0(0.110-0.094) = 20.9 \text{ °C } (20\text{°C} < \Theta_{ext,v} < 22\text{°C} - \text{ZONA V2})$$

7.2 ANEXO II – DIMENSÕES E PESOS MÁXIMOS DOS VEÍCULOS

O Decreto-Lei 132/2017, de 11 de outubro, transpôs para o direito nacional a Diretiva (UE) 2015/719, de 29 de abril, aprovando o novo Regulamento que Fixa os Pesos e as Dimensões Máximos Autorizados para os Veículos em Circulação.

Para poderem circular em Portugal, os veículos devem respeitar limites máximos de comprimento, altura e largura (em metros) e de peso (em toneladas), os quais serão apresentados nas tabelas das figuras seguintes, [103].

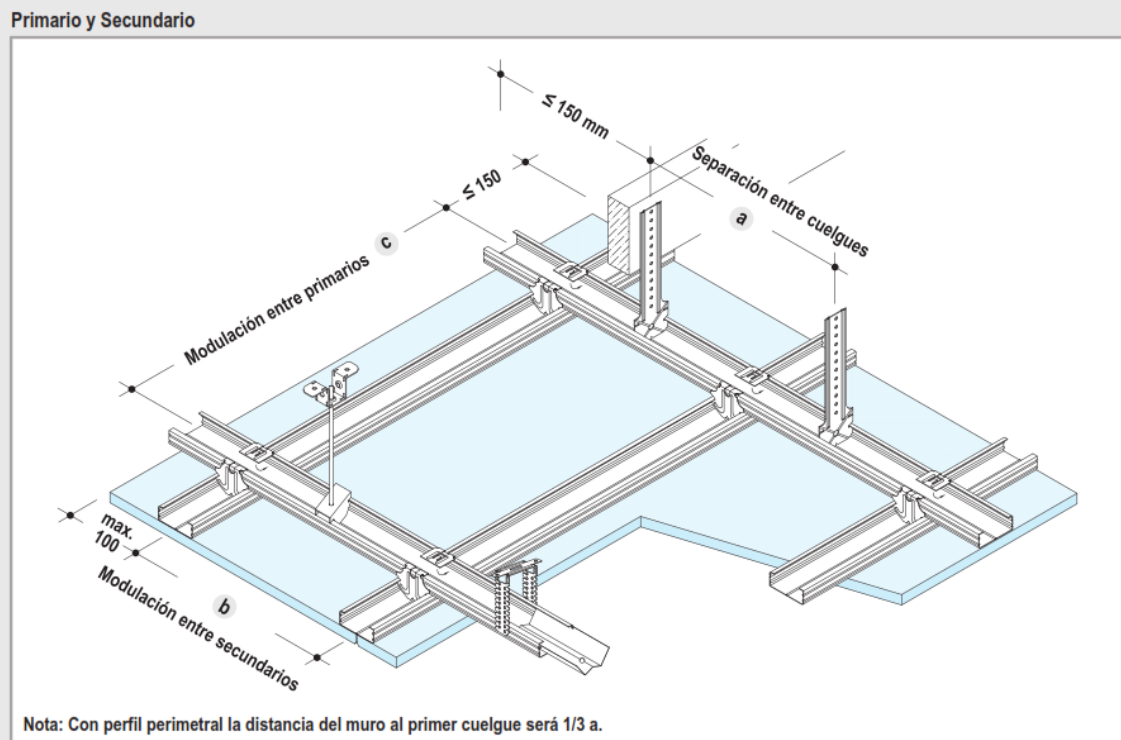
| Categoria | Comprimento | Altura | Largura |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------|---------|
| Veículos a motor com 2 ou mais eixos (exceto pesados de passageiros) | 12 | 4 | 2,55 |
| Reboques com 1 ou mais eixos | | | |
| Veículos pesados de passageiros com 2 eixos | 13,5 | | |
| Veículos pesados de passageiros com 3 ou mais eixos | 15 | | |
| Veículos pesados de passageiros articulados | 18,75 | 4,2 | 2,55 |
| Veículos pesados de passageiros da classe I | Depende do n.º de eixos do veículo | | |
| Conjuntos de veículo a motor e semirreboque com 3 ou mais eixos | 16,5 | 4 | 2,55 |
| Conjuntos de veículo a motor e reboque | 18,75 | | |
| Conjuntos de veículos em configuração Euro-Modular (1) | 25,25 | | |
| Veículos especiais para o transporte de automóveis | 20,55 | 4,6 | 2,55 |
| Veículos com contentores normalizados ISO até 45 pés (13,7 metros) de comprimento | 4,6 | | |
| Veículos que transportem outros veículos a motor avariados ou acidentados | 18,75 (se for mais comprido, precisa de autorização especial) | 4,5 | 2,55 |
| Veículos de transporte condicionado ou contentores ou caixas amovíveis condicionadas transportadas nos veículos (2) | 18,75 | 4 | 2,6 |
| Máquinas com motor ou rebocáveis | 20 | 4,5 | 3 |
| Comboios turísticos | 18,75 | 4 | 2,55 |

| Categoria | Peso máximo |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Veículos a motor com 2 eixos | 19 |
| Veículos a motor com 3 eixos | 26 |
| Veículos a motor com 4 ou mais eixos | 32 |
| Pesados de passageiros com 2 eixos | 19,5 |
| Pesados de passageiros com 3 eixos | 26 |
| Pesados de passageiros articulados com 3 eixos | 28 |
| Pesados de passageiros com 4 ou mais eixos | 32 |
| Pesados de passageiros articulados com 4 ou mais eixos | 32 |
| Conjuntos de veículo a motor e semirreboque com 3 eixos | 29 |
| Conjuntos de veículo a motor e semirreboque com 4 eixos | 38 |
| Conjuntos de veículo a motor e semirreboque com 5 ou mais eixos | 44 |
| Conjuntos de veículo a motor e reboque com 3 eixos | 29 |
| Conjuntos de veículo a motor e reboque com 4 eixos | 37 |
| Conjuntos de veículo a motor e reboque com 5 ou mais eixos | 44 |
| Reboques com 1 eixo | 10 |
| Reboques com 2 eixos | 18 |
| Reboques com 3 ou mais eixos | 24 |
| Máquinas ou conjuntos de máquinas com motor ou rebocáveis com cinco ou mais eixos | 60 |

7.3 ANEXO III – FICHA TÉCNICA DO TETO SUSPENSO KNAUF D47/17

D47.es Knauf Techo Suspendido

Perfiles 47/17 en dos direcciones a distinto nivel



Cuelgues y sujeciones



Separación de estructura

| Estructura | Separación entre Cuelgues/Fijaciones a | Modulación entre Primarios c | Modulación entre Secundarios b | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------------|--|----------------------|--|----|------------|-----|---------------------|-----|---------------------|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|-------------------|------------------------|--|----------------------|--|----|------------|------|---------------------|------|---------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------|--|------|------------|--|---|------|-------------|--------------|---|--------|-----|---|----|-----|
| Primarios y Secundarios Fijado directamente o colgado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <tr> <th>Rango -p-</th> <th>Separación entre Cuelgues/Fijaciones</th> </tr> <tr> <td>kN/m²</td> <td>Carga max. por cuelgue</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\le 0,25\text{ kN}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$\le 0,15$</td> <td>900</td> </tr> <tr> <td>$0,15 < p \le 0,30$</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td>$0,30 < p \le 0,50$</td> <td>600</td> </tr> </table> | Rango -p- | Separación entre Cuelgues/Fijaciones | kN/m ² | Carga max. por cuelgue | | $\le 0,25\text{ kN}$ | | mm | $\le 0,15$ | 900 | $0,15 < p \le 0,30$ | 750 | $0,30 < p \le 0,50$ | 600 | <table border="1"> <tr> <th>Rango -p-</th> <th>Modulación entre Primarios</th> </tr> <tr> <td>kN/m²</td> <td>Carga max. por cuelgue</td> </tr> <tr> <td></td> <td>$\le 0,25\text{ kN}$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>$\le 0,15$</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>$0,15 < p \le 0,30$</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>$0,30 < p \le 0,50$</td> <td>750</td> </tr> </table> | Rango -p- | Modulación entre Primarios | kN/m ² | Carga max. por cuelgue | | $\le 0,25\text{ kN}$ | | mm | $\le 0,15$ | 1000 | $0,15 < p \le 0,30$ | 1000 | $0,30 < p \le 0,50$ | 750 | <table border="1"> <tr> <th>Placa</th> <th colspan="2">Modulación entre Secundarios mm</th> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>Espesor mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">A</td> <td rowspan="2">12,5</td> <td>Transversal</td> </tr> <tr> <td>Longitudinal</td> </tr> <tr> <td>ó</td> <td>2x12,5</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>15</td> <td>550</td> </tr> </table> | Placa | Modulación entre Secundarios mm | | Tipo | Espesor mm | | A | 12,5 | Transversal | Longitudinal | ó | 2x12,5 | 500 | H | 15 | 550 |
| | Rango -p- | Separación entre Cuelgues/Fijaciones | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | kN/m ² | Carga max. por cuelgue | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $\le 0,25\text{ kN}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\le 0,15$ | 900 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $0,15 < p \le 0,30$ | 750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $0,30 < p \le 0,50$ | 600 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rango -p- | Modulación entre Primarios | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| kN/m ² | Carga max. por cuelgue | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $\le 0,25\text{ kN}$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $\le 0,15$ | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $0,15 < p \le 0,30$ | 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $0,30 < p \le 0,50$ | 750 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Placa | Modulación entre Secundarios mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo | Espesor mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | 12,5 | Transversal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Longitudinal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ó | 2x12,5 | 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | 15 | 550 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

D47.es Knauf Techo Suspendido

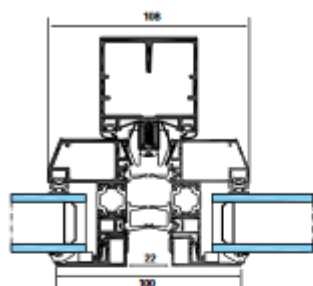
Perfiles 47/17 en dos direcciones a distinto nivel



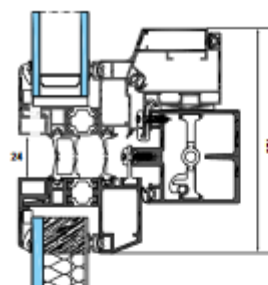
Detalles E 1:5 / Perfiles Primario y Secundario

| | |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <p>D47.es-D1 Encuentro con Trasdosado W611.es</p> | <p>D47.es-A1 Encuentro con Trasdosado W611.es</p> |
| <p>Suspensión B fijada directamente 0,4 kN</p> | |
| <p>D47.es-A2 Encuentro con Muro</p> | <p>D47.es-D2 Encuentro con Muro</p> |
| <p>Suspensión B fijada directamente 0,4 kN</p> | |
| <p>D47.es-C1 Junta Transversal - Perfiles en una dirección</p> | <p>D47.es-B1 Junta Longitudinal - Perfiles en dos direcciones</p> |
| <p>D47.es-B2 Junta Longitudinal - Perfiles en una dirección</p> | <p>D47.es-C2 Junta Transversal - Perfiles en dos direcciones</p> |

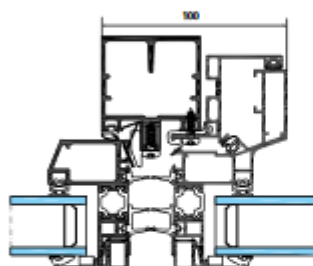
7.4 ANEXO IV – FICHA TÉCNICA GEODE ASPETO QUADRADO



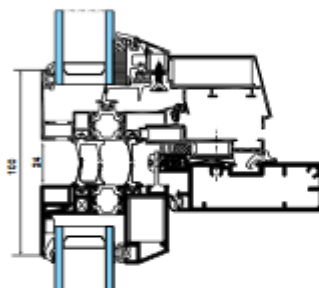
GEODE VEP vista partes fixas



GEODE VEP janela oculta à italiana



GEODE VEP janela oculta à italiana



GEODE VEP janela oculta oscilo batente



Construção

- **Estanquidade ao ar.** Uma junta de compressão inferior em EPDM, com forma de ângulo vulcanizado ou junta quadro, assegura a estanquidade total do sistema ao ar.
- **Instalação.** Os quadros fabricados são instalados na estrutura da fachada cortina com a ajuda de um sistema com acessório patenteado.

Prestações

- **Isolamento térmico** com vidro $U_g = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$:
 - Fachada fixa 80% vidro (frente de laje opaca) $U_{cw} = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Fachada fixa 50% vidro (painel isolante 80 mm, $U_p=0.35$) $U_{cw} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - **Testes I.T.T.** permitindo ao fabricante beneficiar da marcação CE.
 - **Estanquidade a água, ar e vento** de acordo com as normas europeias.
- Cálculos térmicos de fachadas realizados de acordo com a norma EN 13947.*



Opção GEODE VEP reforçada


Versão adaptada a zonas com exigências climáticas ou ambientais elevadas.







- Quadros fixos e janelas de ruptura da

ponte térmica.

- **Espessuras:** fixos até 200 kg, folhas 120 kg (à italiana) 100 kg (oscilo-batente).
 - **Janela oculta à Italiana** ou oscilo-batente.
 - Fachadas planas ou com ângulo $\pm 3^\circ$.
 - **Vidros:** de 30 a 36 mm fixos e janela à italiana, painéis isolantes de 54 mm, folha oscilo-batente de 28 e 34 mm.
 - Isolamento térmico até $U_{cw} = 1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$.
 - Atenuação acústica até 40 dB.
 - **Estanquidade a água, ar e vento** de acordo com normas europeias.
 - **Colocação rápida de quadros graças ao sistema patenteado** Technal.
- Produto disponível em condições especiais.
Contactar o serviço técnico Technal.

7.5 ANEXO V – FICHA TÉCNICA DO SISTEMA Eco System®50

| ES 50 | | |
|------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | |  |
| CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS | | |
| Largura mín. visível da janela de abertura interior | Aro | 48 mm |
| | Folha | 30 mm |
| Largura mín. visível da janela de abertura exterior | Aro | 21 mm |
| | Folha | 87 mm |
| Largura mín. visível da porta faceada de abertura interior | Aro | 67 mm |
| | Folha | 74 mm |
| Largura mín. visível da porta faceada de abertura exterior | Aro | 42 mm |
| | Folha | 99 mm |
| Largura mínima visível do perfil de travessa | | 70 mm |
| Profundidade total de construção da janela | Aro | 50 mm |
| | Folha | 59 mm |
| Profundidade total de construção da porta faceada | Aro | 50 mm |
| | Folha | 50 mm |
| Altura do bile | | 22 mm |
| Espessura do vidro | | até 32 mm |
| Método de vedação | | Vedação em seco com EPDM ou silicones neutros |
| Isolamento térmico | | Barra de poliamida reforçadas com fibra de vidro em forma de omega (aro 26.3 mm - folha 22 mm) |
| Variante HI & HI+ | | Disponível |

| DESEMPENHOS | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| ENERGIA | | | | | | | | | | | |
|  | Isolamento térmico ⁽¹⁾ EN ISO 10077-2 | Valor Uf até 1.6 W/m²K dependendo da combinação aro/folha e da espessura do vidro | | | | | | | | | |
| CONFORTO | | | | | | | | | | | |
|  | Desempenho acústico ⁽²⁾ EN ISO 140-3; EN ISO 717-1 | Rw (C; Ctr) = 35 (-1; -4) dB / 39 (-1; -3) dB, dependendo do método de vedação | | | | | | | | | |
|  | Permeabilidade ao ar, pressão máx. de ensaio ⁽³⁾ EN 1026; EN 12207 | 1 (50 Pa) | 2 (300 Pa) | | | 3 (600 Pa) | | 4 (600 Pa) | | | |
|  | Estanquidade à água ⁽⁴⁾ EN 1027; EN 12208 | 1A (0 Pa) | 2A (50 Pa) | 3A (100 Pa) | 4A (150 Pa) | 5A (200 Pa) | 6A (250 Pa) | 7A (300 Pa) | 8A (450 Pa) | 9A (600 Pa) | E (750 Pa) |
|  | Resistência à carga do vento, pressão máxima de ensaio ⁽⁵⁾ EN 12211; EN 12210 | 1 (400 Pa) | | 2 (800 Pa) | | 3 (1200 Pa) | | 4 (1600 Pa) | | 5 (2000 Pa) | Exxx (>2000 Pa) |
| | Resistência à carga do vento, até à deformação do aro ⁽⁵⁾ EN 12211; EN 12210 | A (≤1/50) | | | B (≤1/200) | | | C (≤1/300) | | | |
| SEGURANÇA | | | | | | | | | | | |
|  | Resistência ao roubo ⁽⁶⁾ ENV 1627 - ENV 1630 | WK 1 | | | WK 2 (portas & janelas) | | | WK 3 | | | |

Esta tabela mostra as classes e os valores de desempenho atingíveis para configurações e aberturas específicas.

- (1) O valor Uf mede a transmissão térmica. Quanto menor for o valor Uf, melhor será o isolamento térmico da estrutura.
- (2) O índice de redução de som (Rw) mede a capacidade de desempenho de redução de ruído da estrutura e do vidro.
- (3) O teste de permeabilidade ao ar mede o volume de ar que passa por uma janela fechada a uma certa pressão de ar.
- (4) O teste de estanquidade à água comprova-se com a aplicação de um jacto de água uniforme a uma pressão crescente de ar até que a água penetre na janela.
- (5) O teste de resistência à carga de vento é uma medida da força estrutural do perfil e é testado aplicando-se níveis de pressão do ar que vão aumentando para simular a força do vento. Existem 5 níveis de resistência ao vento (1 a 5) e 3 classes de deformação (A, B, C). Quanto mais alto o valor, melhor será o desempenho.
- (6) A resistência ao roubo é testada com cargas estáticas e dinâmicas, assim como por simulações de tentativas de arrombamento utilizando ferramentas específicas.

7.6 ANEXO VI -RELATÓRIOS DAS CARGAS TÉRMICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

| Zone Design Load Summary for Climatização | | |
|--------------------------------------------------|--|------------|
| Project Name: ZELAB | | 10/13/2018 |
| Prepared by: ANDRE | | 08:15 |

| Zone 1 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|------------|----------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jul 1400 COOLING OA DB / WB 27,3 °C / 21,0 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,9 °C / -1,4 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 24 m² | 321 | - | 24 m² | - | - |
| Wall Transmission | 38 m² | 6 | - | 38 m² | 180 | - |
| Roof Transmission | 11 m² | 1 | - | 11 m² | 89 | - |
| Window Transmission | 24 m² | 36 | - | 24 m² | 715 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 6 m² | 59 | - | 6 m² | 178 | - |
| Floor Transmission | 30 m² | -9 | - | 30 m² | 202 | - |
| Partitions | 12 m² | 0 | - | 12 m² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 42 W | 39 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 3447 W | 3023 | - | 0 | 0 | - |
| People | 7 | 367 | 554 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 3843 | 554 | - | 1345 | 0 |

| Zone 2 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------|------------|----------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jul 1800 COOLING OA DB / WB 27,5 °C / 21,1 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,9 °C / -1,4 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 13 m² | 420 | - | 13 m² | - | - |
| Wall Transmission | 33 m² | 18 | - | 33 m² | 150 | - |
| Roof Transmission | 25 m² | -2 | - | 25 m² | 153 | - |
| Window Transmission | 13 m² | 42 | - | 13 m² | 387 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Partitions | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 38 W | 31 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 550 W | 511 | - | 0 | 0 | - |
| People | 10 | 575 | 601 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1595 | 601 | - | 670 | 0 |

Zone Design Load Summary for Climatização

Project Name: ZELAB
Prepared by: ANDRE

10/13/2018
04:26

| Zone 3 | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------|--------------|------------|
| | COOLING DATA AT Jul 17:00 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 28,5 °C / 21,6 °C | | | HEATING OA DB / WB 1,9 °C / -1,4 °C | | |
| | OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| ZONE LOADS | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | - | - |
| Wall Transmission | 4 m² | 4 | - | 4 m² | 18 | - |
| Roof Transmission | 11 m² | 5 | - | 11 m² | 66 | - |
| Window Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 4 m² | 22 | - | 4 m² | 153 | - |
| Floor Transmission | 9 m² | 2 | - | 9 m² | 39 | - |
| Partitions | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 15 W | 14 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 301 W | 301 | - | 0 | 0 | - |
| People | 1 | 38 | 67 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 385 | 67 | - | 277 | 0 |

Space Design Load Summary for Climatização

Project Name: ZELAB
Prepared by: ANDRE

10/13/2018
08:15

| TABLE 1.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE " HALL - RECEPÇÃO " IN ZONE " Zone 1 " | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| SPACE LOADS | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
| | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| | COOLING DATA AT Jul 1400 COOLING OA DB / WB 27,3 °C / 21,0 °C OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | HEATING DATA AT DES HTG HEATING OA DB / WB 1,3 °C / -1,4 °C OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| Window & Skylight Solar Loads | 6 m ² | 58 | - | 6 m ² | - | - |
| Wall Transmission | 18 m ² | -2 | - | 18 m ² | 81 | - |
| Roof Transmission | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Window Transmission | 6 m ² | 9 | - | 6 m ² | 177 | - |
| Skylight Transmission | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Floor Transmission | 19 m ² | -3 | - | 19 m ² | 77 | - |
| Partitions | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 26 W | 24 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 3447 W | 3023 | - | 0 | 0 | - |
| People | 7 | 367 | 554 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 3476 | 554 | - | 335 | 0 |

| TABLE 1.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE " HALL - RECEPÇÃO " IN ZONE " Zone 1 " | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| W EXPOSURE | Area (m ²) | U-Value (W/(m ² ·K)) | Shade Coeff. | COOLING | COOLING | HEATING |
| | | | | TRANS (W) | SOLAR (W) | TRANS (W) |
| WALL | 4 | 0,236 | - | -3 | - | 17 |
| WINDOW 1 | 6 | 1,600 | 0,100 | 9 | 58 | 177 |
| E EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 10 | 0,236 | - | 6 | - | 43 |
| N EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 5 | 0,236 | - | -4 | - | 20 |

Space Design Load Summary for Climatização

Project Name: ZELAB
Prepared by: ANDRE

10/13/2018
08:15

| TABLE 1.2.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE "HALL - ESCADA" IN ZONE "Zone 1" | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|----------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|
| SPACE LOADS | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
| | COOLING DATA AT Aug 17:00 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 32,1 °C / 25,5 °C OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | HEATING OA DB / WB 1,9 °C / -1,4 °C OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 18 m ² | 415 | - | 18 m ² | - | - |
| Wall Transmission | 20 m ² | 38 | - | 20 m ² | 99 | - |
| Roof Transmission | 11 m ² | 0 | - | 11 m ² | 89 | - |
| Window Transmission | 18 m ² | 180 | - | 18 m ² | 539 | - |
| Skylight Transmission | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Door Loads | 6 m ² | 195 | - | 6 m ² | 178 | - |
| Floor Transmission | 11 m ² | 9 | - | 11 m ² | 125 | - |
| Partitions | 12 m ² | 0 | - | 12 m ² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m ² | 0 | - | 0 m ² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| People | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 818 | 0 | - | 1010 | 0 |

| TABLE 1.2.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE "HALL - ESCADA" IN ZONE "Zone 1" | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|
| | Area (m ²) | U-Value (W/(m ² ·K)) | Shade Coeff. | COOLING | COOLING | HEATING |
| | | | | TRANS (W) | SOLAR (W) | TRANS (W) |
| S EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 2 | 0,236 | - | 3 | - | 11 |
| WINDOW 1 | 12 | 1,600 | 0,100 | 112 | 253 | 377 |
| W EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 3 | 0,400 | - | 18 | - | 23 |
| WINDOW 1 | 6 | 1,500 | 0,100 | 48 | 163 | 162 |
| DOOR | 1 | 1,600 | - | 8 | - | 28 |
| DOOR GLASS | 5 | 1,600 | 0,100 | 45 | 142 | 151 |
| E EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 14 | 0,236 | - | 17 | - | 65 |
| H EXPOSURE | | | | | | |
| ROOF | 11 | 0,318 | - | 0 | - | 89 |

| | |
|---------------------------------------------------|---------------------|
| Space Design Load Summary for Climatização | |
| Project Name: ZELAB Prepared by: ANDRE | 10/13/2018 04.26 |

| TABLE 2.1.A. COMPONENT LOADS FOR SPACE "SALA REUNIOES" IN ZONE "Zone 2" | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|------------|----------------------------------------------------------------|--------------|------------|
| SPACE LOADS | DESIGN COOLING | | | DESIGN HEATING | | |
| | COOLING DATA AT Jul 18:00 | | | HEATING DATA AT DES HTG | | |
| | COOLING OA DB / WB 27,5 °C / 21,1 °C OCCUPIED T-STAT 23,9 °C | | | HEATING OA DB / WB 1,9 °C / -1,4 °C OCCUPIED T-STAT 21,1 °C | | |
| | Details | Sensible (W) | Latent (W) | Details | Sensible (W) | Latent (W) |
| Window & Skylight Solar Loads | 13 m² | 420 | - | 13 m² | - | - |
| Wall Transmission | 33 m² | 16 | - | 33 m² | 150 | - |
| Roof Transmission | 25 m² | -2 | - | 25 m² | 153 | - |
| Window Transmission | 13 m² | 42 | - | 13 m² | 367 | - |
| Skylight Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Door Loads | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Floor Transmission | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Partitions | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Ceiling | 0 m² | 0 | - | 0 m² | 0 | - |
| Overhead Lighting | 36 W | 31 | - | 0 | 0 | - |
| Task Lighting | 0 W | 0 | - | 0 | 0 | - |
| Electric Equipment | 550 W | 511 | - | 0 | 0 | - |
| People | 10 | 575 | 601 | 0 | 0 | 0 |
| Infiltration | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Miscellaneous | - | 0 | 0 | - | 0 | 0 |
| Safety Factor | 0% / 0% | 0 | 0 | 0% | 0 | 0 |
| >> Total Zone Loads | - | 1595 | 601 | - | 670 | 0 |

| TABLE 2.1.B. ENVELOPE LOADS FOR SPACE "SALA REUNIOES" IN ZONE "Zone 2" | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | Area (m²) | U-Value (W/(m²·K)) | Shade Coeff. | COOLING | COOLING | HEATING |
| | | | | TRANS (W) | SOLAR (W) | TRANS (W) |
| N EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 15 | 0,236 | - | 0 | - | 67 |
| W EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 3 | 0,236 | - | 2 | - | 13 |
| WINDOW 1 | 13 | 1,500 | 0,100 | 42 | 420 | 367 |
| E EXPOSURE | | | | | | |
| WALL | 16 | 0,236 | - | 16 | - | 71 |
| H EXPOSURE | | | | | | |
| ROOF | 25 | 0,316 | - | -2 | - | 153 |

