

ANÁLISE TÉCNICA AO PROGRAMA BASE DE ARQUITETURA

Contributos para o aumento da
Sustentabilidade e Eficiência Energética de
Edifícios

MAFALDA RIBEIRO DOS SANTOS

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

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2023

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2022/2023

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado em Engenharia Civil - 2022/2023 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2023*.

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

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

A meus Pais

Voa sempre e cada vez mais alto

Cristiana Leite

AGRADECIMENTOS

Chegada a última fase do meu percurso académico é momento de agradecer a todos aqueles que me apoiaram e ajudaram a concluir esta jornada.

Quero começar por agradecer ao Professor Doutor Hipólito de Sousa pelo direcionamento fundamental na elaboração desta dissertação e pela disponibilidade e acompanhamento constantes.

Um agradecimento à SOPSEC pela forma como fui recebida por todos os elementos da empresa. Dirijo um especial agradecimento à Goreti Guedes pela valiosa colaboração e dedicação demonstrada durante todo o processo, bem como ao Gil pelo apoio prestado. Aproveito também para agradecer ao promotor do projeto, Meresol II – Real Estate, Lda, pelo contributo prestado em fornecer todas as informações necessárias.

Sem querer descuidar os professores da FEUP, um agradecimento a todos eles por terem contribuído para o meu crescimento e pelo conhecimento transmitido.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial à Bárbara pela amizade verdadeira que já perdura há alguns anos e por sempre me motivar para o meu melhor. Aos meus amigos, Mariana e Hugo, pela amizade e companheirismo durante estes cinco anos. Obrigada à Cristiana Leite, por ser mais do que a minha professora de teatro por ser uma grande amiga e por realçar as minhas capacidades.

Por último, mas não menos importante agradeço ao Bruno pelo infindável carinho e por estar sempre ao meu lado. À minha família o meu sincero obrigada. Aos meus avós, Olívia e José, agradeço todo o amor e empenho que sempre demonstraram. Dirijo ainda uma palavra de profunda estima aos meus pais por me permitiram concretizar todos os meus sonhos e por acompanharem todas as minhas conquistas.

A todos o meu mais sincero obrigada.

RESUMO

Uma parte significativa dos impactos ambientais resultam das emissões de gases com efeito de estufa que decorrem do consumo de energia de edifícios em funcionamento. A conceção de edifícios que incorporem soluções mais sustentáveis é um tema que tem vindo a ganhar importância na indústria da construção. Deste modo, torna-se imperativo reduzir as necessidades energéticas na exploração dos edifícios, sendo a poupança conseguida nos custos de climatização valorizada pelos ocupantes, e um potencial argumento de venda na promoção. Para encontrar as melhores estratégias, não é suficiente adotar abordagens qualitativas, suportadas no sentimento ou na experiência, sendo necessária a realização de estudos que quantifiquem e comprovem a fiabilidade das conclusões.

É importante incutir nos profissionais do setor da construção um sentido crítico, destacando a necessidade de tomar decisões atempadas, com vista à minimização da pegada carbónica do parque construído. Assim, este trabalho tem como principal objetivo apresentar metodologias que permitam, na fase de estudo prévio dos projetos, avaliar de forma relativamente macro e expedita, mas quantificada, o comportamento energético dos edifícios, comparando diferentes soluções arquitetónicas com vista à identificação das soluções globalmente mais sustentáveis.

Um dos métodos passíveis de serem adotados passa pela simulação dinâmica do comportamento energético dos edifícios, com recurso a ferramentas computacionais.

Com base neste método, a presente dissertação avaliou o caso prático de uma moradia tipo de um aldeamento turístico no Algarve. Para minimizar as necessidades energéticas do edifício foi necessário implementar estratégias passivas, selecionando um conjunto de parâmetros, nomeadamente, a orientação, o fator de forma, as envolventes opaca e envidraçada, o contributo da inércia térmica, bem como a influência da cor exterior. Pela variação destes parâmetros e com recurso ao *software* de simulação *DesignBuilder*, foi possível obter o desempenho energético de cada uma das soluções e identificar os cenários mais eficientes. O diagnóstico técnico visa avaliar e suportar as melhores decisões arquitetónicas com potencial para aumentar a sustentabilidade e eficiência energética do edifício. Como a definição dos parâmetros resulta de uma análise macro dos elementos do edifício, o foco da motivação reside na avaliação do desempenho de variáveis globais, sendo a pormenorização e desenvolvimento do projeto um trabalho posterior a executar pelas respetivas especialidades. A análise foi efetuada com base nos resultados de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, consumos anuais de energia final e estudo complementar de otimização de cenários.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Eficiência Energética, Energia, Edifícios, Simulação Dinâmica.

ABSTRACT

A significant proportion of environmental impacts result from greenhouse gas emissions that arise from the energy consumption of buildings in operation. The design of buildings incorporating more sustainable solutions is a topic that is gaining importance in the construction industry. It is therefore imperative to reduce energy needs in the operation of buildings since the savings in air conditioning costs are valued by occupants and are a potential sales argument. To find the best strategies, it is not enough to adopt qualitative approaches, supported by feelings or experience, but studies are needed to quantify and prove the reliability of the conclusions.

It is essential to instil a critical sense among professionals in the construction sector, highlighting the need to make timely decisions to minimise the building stock's carbon footprint. Thus, this work aims to present methodologies that allow, in the preliminary study phase of the projects, to evaluate the energetic behaviour of buildings in a macro and expedited but quantified way. Additionally, different architectural solutions were compared to identify the globally more sustainable solutions.

One of the methods that can be adopted is the dynamic simulation of the energy behaviour of buildings, using computational tools.

Based on this method, this dissertation assessed the practical case of a villa type of tourist resort in the Algarve. To minimise the energy needs of the building it was necessary to implement passive strategies, selecting a set of parameters, namely, orientation, shape factor, opaque and glazed envelopes, the contribution of thermal inertia and the influence of external colour. By varying these parameters and using the DesignBuilder simulation software, it was possible to obtain the energy performance of each solution and identify the most efficient scenarios. The technical diagnosis aims to assess and support the best architectural decisions with the potential to increase the sustainability and energy efficiency of the building. As the definition of the parameters results from a macro analysis of the building elements, the focus of motivation lies in evaluating the performance of global variables, with the detailing and development of the project being a subsequent job to be carried out by the respective specialities. The analysis was based on the results of heating and cooling loads, annual final energy consumption and complementary scenario optimization study.

KEYWORDS: Sustainability, Energy Efficiency, Energy, Buildings, Dynamic Simulation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1 INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
 2 ESTADO DE ARTE E FUNDAMENTOS	 5
2.1. INTRODUÇÃO	5
2.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	5
2.2.1. O SURGIMENTO DO NOVO PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE	5
2.2.2. DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE.....	6
2.2.3. SUSTENTABILIDADE NOS EDIFÍCIOS	8
2.2.4. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, APLICADOS AO SETOR DA CONSTRUÇÃO	14
2.3. ENERGIA E EDIFÍCIOS	18
2.3.1. CONSUMO DE ENERGIA	18
2.3.2. REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA, OPÇÕES DE PROJETO.....	21
2.3.3. O PAPEL DA INÉRCIA TÉRMICA NOS EDIFÍCIOS	24
2.3.4. PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO CÁLCULO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS	26
2.3.5. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS	28
2.3.6. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS, EM PORTUGAL.....	29
2.4. NOTAS FINAIS	29
 3 SIMULAÇÃO DINÂMICA DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS	 31
3.1. INTRODUÇÃO.....	31
3.2. METODOLOGIAS DE SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS	31
3.2.1. METODOLOGIAS DE CÁLCULO.....	33
3.2.2. SOFTWARES DISPONÍVEIS	33

3.3. NOTAS FINAIS	38
 4 CASO DE ESTUDO	 39
4.1. INTRODUÇÃO	39
4.2. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	39
4.3. PARAMETRIZAÇÃO E MODELAÇÃO COM O DESIGNBUILDER	41
4.3.1. ENQUADRAMENTO DO EDIFÍCIO	42
4.3.2. PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	43
4.4. PARÂMETROS E VARIÁVEIS EM ANÁLISE	45
4.4.1. ORIENTAÇÃO	46
4.4.2. FATOR DE FORMA	47
4.4.3. ENVOLVENTE	47
4.4.4. ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO	48
4.4.5. INÉRCIA TÉRMICA	49
4.4.6. COR DO EXTERIOR	49
4.5. NOTAS FINAIS	50
 5 RESULTADOS	 51
5.1. INTRODUÇÃO	51
5.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS	51
5.2.1. ASPETOS GERAIS	51
5.2.2. RESULTADOS	52
5.2.3. APRECIACÃO DOS RESULTADOS	53
5.3. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA	61
5.3.1. ASPETOS GERAIS	61
5.3.2. RESULTADOS	61
5.3.3. APRECIACÃO DOS RESULTADOS	63
5.4. ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO	65
5.4.1. ASPETOS GERAIS	65
5.4.2. RESULTADOS	65
5.4.3. APRECIACÃO DOS RESULTADOS	69
5.5. NOTAS FINAIS	69

6 CONCLUSÕES	71
6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6.2. CONSIDERAÇÕES FOCADAS NOS RESULTADOS.....	71
6.3. ENQUADRAMENTO DO ESTUDO ENERGÉTICO NO CICLO DE VIDA DA OBRA.....	73
6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	75
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
 ANEXOS	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Evolução da População Mundial, adaptado de [2]	1
Fig. 2 - Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão, adaptado de [1]	7
Fig. 3 - Vertentes e respetivas áreas de intervenção do LiderA, adaptado de [11]	10
Fig. 4 - Níveis de desempenho [11]	11
Fig. 5 - Ponderação, em percentagem, para as 20 áreas do Sistema LiderA [11]	11
Fig. 6 - Ponderação das áreas gerais do LEED-NC, adaptado de [1]	12
Fig. 7 - Escala de certificação do LEED [13]	13
Fig. 8 - Categorias e respetiva ponderação, em percentagem, no EcoHomes [10]	14
Fig. 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável [16]	15
Fig. 10 - Consumo de energia final por setor, em Portugal, adaptado de [31]	19
Fig. 11 - Consumo final de energia por setor, em Portugal, no ano de 2020, adaptado de [31]	20
Fig. 12 - Necessidades de consumo de energia nos edifícios, adaptado de [8]	21
Fig. 13 - Prioridades de projeto para redução do consumo de energia	21
Fig. 14 - Medidas Passivas, adaptado de [8]	22
Fig. 15 - Processos de transformação de energia, adaptado de [32]	23
Fig. 16 - Funcionamento de um equipamento eficiente, adaptado de [32]	23
Fig. 17 - Grupo de parâmetros envolvidos num cálculo energético, adaptado de [4]	26
Fig. 18 - Classes de certificação energética [38]	29
Fig. 19 - Custo VS Benefício da simulação de edifícios, adaptado de [45]	32
Fig. 20 - Softwares de simulação de energia de edifícios	34
Fig. 21 - Módulos do EnergyPlus [50]	35
Fig. 22 - Parâmetros do SketchUp [52]	36
Fig. 23 - Áreas de estudo do Cove.tool [53]	36
Fig. 24 - Módulos do DesignBuilder [55]	37
Fig. 25 - Planta do aldeamento	40
Fig. 26 - Edifício de Referência modelado no DesignBuilder	40
Fig. 27 - Resumo de resultados da análise climática do local de implantação do edifício	43
Fig. 28 - Exposição da fachada principal segundo as quatro direções	46
Fig. 29 - Esquema de resultados das necessidades energéticas das variáveis	53
Fig. 30 - Esquema de sombras no dia 21 de julho com palas de 2,0m de profundidade voltadas a Sul	58

Fig. 31 - Esquema de sombras no dia 21 de dezembro com palas de 2,0m de profundidade voltadas a Sul	58
Fig. 32 - Esquema de sombras no dia 21 de julho com palas de 3,0m de profundidade voltadas a Oeste	59
Fig. 33 - Esquema de sombras no dia 21 de dezembro com palas de 3,0m de profundidade voltadas a Oeste	60
Fig. 34 - Consumos anuais de energia final dos cenários simulados	62
Fig. 35 - Custo de energia dos cenários limite, em relação à fatura mensal da moradia de referência	63
Fig. 36 - Variação do consumo anual de energia final por iteração obtido pela análise de otimização	67
Fig. 37 - Processo de modelação descrito pela Norma ASHRAE 209-2018, adaptado de [68].	75

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Regras e valores limite por tipo de elemento [34]	24
Tabela 2 - Fator de redução de massa superficial útil [34]	25
Tabela 3 - Classes de inércia térmica, I_t [34]	25
Tabela 4 - Dados Climáticos do edifício de referência.....	42
Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca, $U_{máx}$ [$W/(m^2.°C)$] [57]	44
Tabela 6 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,máx}$ [$W/(m^2.°C)$] [56]	44
Tabela 7 - Parâmetros em análise e variáveis do edifício de referência	45
Tabela 8 - Variação do posicionamento da moradia para quantificar o fator de forma	47
Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica para quantificação da envolvente opaca e variação da área envidraçada.....	48
Tabela 10 - Absortância solar, α_{sol} [34].....	50
Tabela 11 - Iluminação natural anual para as quatro orientações	54
Tabela 12 - Variáveis em análise no processo de otimização	66
Tabela 13 - Combinações de variáveis consideradas para cada iteração do processo de otimização e zoom para se perceber melhor o resultado do consumo final das soluções ótimas	68

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

IEEref – Indicador de eficiência energética de referência
IEEpr – Indicador de eficiência energética previsto
CO₂ - Dióxido de Carbono
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU – Organização das Nações Unidas
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
PNEC 2030 – Plano Nacional de Energia e Clima 2030
PIB – Produto Interno Bruto
BIM – Building Information Modeling
LiderA – Liderar pelo Ambiente para uma Construção Sustentável
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
BREAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method
BRE – Building Research Establishment
WorldGBC – World Green Building Council
tep – Tonelada equivalente de petróleo
Mtep – Milhões de toneladas de petróleo equivalente
DEE – Desempenho energético dos edifícios
tep – Tonelada equivalente de petróleo
 I_t – Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [kg/m²];
 η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
 η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento
Nic – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento
Nvc – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
AQS – Águas Quentes Sanitárias
EPBD – Diretiva Europeia de Desempenho Energético dos Edifícios
SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
ADENE – Agência Nacional de Energia
RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos edifícios
RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
OSB – Oriented Strand Board

REH – Regulamento de Edifícios de Habitação

NUTS - Nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

O crescimento da população mundial verificado desde 1700 tem sido acompanhado pelo aumento e desenvolvimento do nível de vida individual, pela dependência e uso de recursos e, pelo consequente impacto sob o ponto de vista ambiental [1].

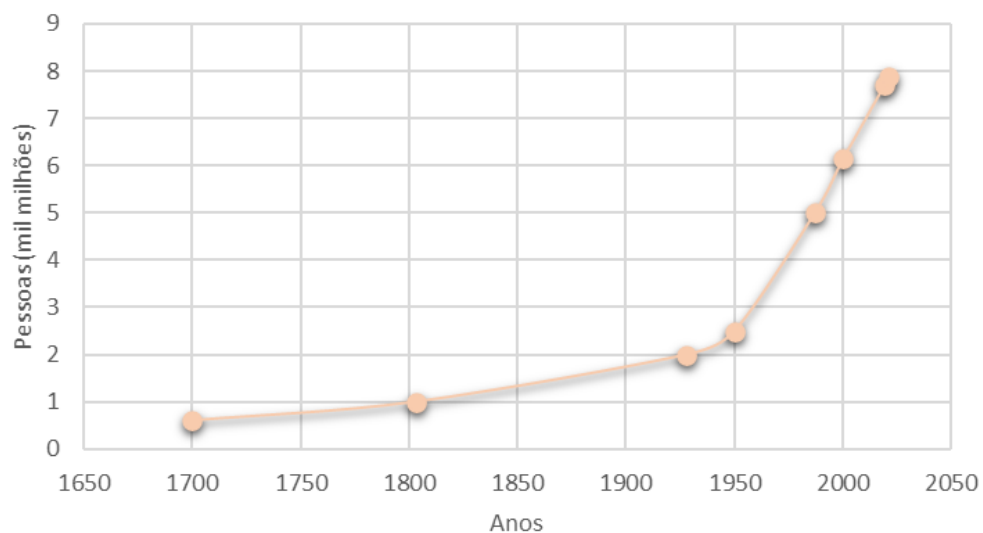


Fig. 1 - Evolução da População Mundial, adaptado de [2]

A modernização e adaptação da tecnologia surge pela necessidade de suprimir as exigências das civilizações e acompanhar o seu ritmo de vida. Os diferentes setores económicos representam meios mobilizadores desta evolução tecnológica, contudo o seu impacto nem sempre se revela positivo. Por exemplo, no setor da construção, as necessidades energéticas dos edifícios aumentam diretamente com o número e tipo de equipamentos adotados [1].

Numa perspetiva geral, a vida das pessoas é totalmente dependente dos edifícios, uma vez que os utilizam para viver ou para desempenhar as atividades profissionais. Assim, é de realçar a importância do setor da construção em satisfazer as necessidades humanas, já que desde os primórdios das civilizações, o setor tem vindo a acompanhar o seu crescimento e a adaptar-se às suas exigências. A

atividade da construção também é responsável pela organização das cidades e infraestruturas relevantes para as populações [1].

A interdependência demonstrada entre o Homem e o ambiente construído, refletem a sua importância para questões de cariz ambiental. Os edifícios são fundamentais para a sustentabilidade, devido ao consumo de água e energia, bem como as emissões de CO₂ resultantes das atividades que se desenvolvem nas edificações [1].

A conceção, escolha de materiais e equipamentos de climatização devem ser decisões ponderadas e pensadas para a melhoria do desempenho ambiental dos espaços edificados, com efeitos também económicos e na qualidade de vida dos ocupantes [1].

A consciência do impacto da tomada de decisões de conceção na fase inicial de projeto tem ganho importância nos últimos anos, sendo disso reflexo a procura, por parte dos promotores, pela redução das necessidades energéticas dos edifícios, durante a utilização. Esta constatação resulta, em grande parte, das exigências de conforto da sociedade, que para serem satisfeitas induzem um aumento do consumo de energia convencional, ou seja, as deficiências da construção são suprimidas pela energia consumida para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, garantindo os níveis de conforto dos ocupantes [3].

A dimensão ambiental ganha assim importância, sendo cada vez mais urgente considerar os efeitos ambientais associados à construção, utilização e desconstrução dos edifícios, principalmente numa fase preliminar do projeto, com vista à avaliação, quantitativa e qualitativa, que permite encontrar medidas para minimizar estes impactes [1].

Surge assim a necessidade de atuação da equipa de projeto na tentativa de melhorar o desempenho dos edifícios, tendo em conta o conceito de arquitetura. Sendo a regulamentação dos edifícios cada vez mais exigente, nomeadamente ao nível do conforto térmico e consumo energético, a experiência e o conhecimento na construção são determinantes para o sucesso do produto final. Por isso, torna-se cada vez mais imprescindível adotar métodos de análise dinâmica, que permitam simular o comportamento térmico dos edifícios em funcionamento [4].

O modelo de análise de um edifício em regime dinâmico permite demonstrar a integração das especialidades envolvidas numa perspetiva global de coordenação de projeto, bem como a importância das decisões iniciais, no desempenho do edifício. Incorporar esta metodologia surge como forma de validação das decisões/conclusões da equipa de projeto.

A preocupação e sensibilidade com questões de sustentabilidade e eficiência energética dos edifícios e a sua integração na fase inicial de projeto, desencadeou a proposta do tema da dissertação acordada entre os três intervenientes (o orientador – Eng. Doutor Hipólito Sousa, a coordenadora de projeto - Eng. Goreti Guedes da empresa SOPSEC e a estudante). A SOPSEC – Sociedade de Prestação de Serviços de Engenharia Civil, SA – fundada em 1988, já conta com mais de uma centena de colaboradores, que primam pela competência técnica e ética. Posiciona-se entre as empresas líderes nos serviços de engenharia, justo pela excelência prestada há mais de três décadas. A empresa presta serviços a nível nacional e internacional, no domínio da consultoria, elaboração de projetos, gestão e fiscalização de obras. Emprega materiais modernos, sobretudo no domínio da acústica e estabelece parecerias, o que permite adequar a sua capacidade de resposta às especificações do mercado. Nos últimos anos, destaca-se pela constante evolução e preocupação com aspetos de natureza ambiental e económica, reportando valor para os projetos e benefícios em qualidade de vida. Por tudo isto, a SOPSEC compromete-se a prestar serviços de elevada especialização no setor da construção, garantindo a satisfação dos clientes [5].

Na perspetiva da autora, desde muito cedo que a Engenharia Civil era uma certeza, talvez por influências familiares, mas o fascínio e a curiosidade sobre a génese dos edifícios sempre foi evidente. Durante o percurso enquanto estudante de Engenharia Civil muitas foram as dúvidas sobre qual o tema de maior interesse para a escolha da dissertação de mestrado. O foco principal sempre foi relacionar a Engenharia Civil com temas de maior preocupação na atualidade. O objetivo passava pelo envolvimento em projetos com vista a promover a sustentabilidade e a eficiência energética dos edifícios. Para além disso, conciliar os aspetos referidos com a beleza estética do produto criado era um ponto de interesse da autora e, por isso, a envolvimento na fase inicial de projeto faz todo o sentido. Para além dos gostos pessoais na área, a única certeza refletia-se na vontade e motivação pela inclusão no mercado de trabalho, o que resultou na escolha pela realização da dissertação em ambiente empresarial.

1.2. OBJETIVOS

Atendendo ao objetivo global de reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa associados aos edifícios em exploração, estabeleceu-se como objetivo enquadrador a avaliação de diferentes opções de projeto na fase inicial do mesmo, na perspetiva do seu impacto energético.

O estudo foca-se, essencialmente, na análise técnica ao programa base de arquitetura das vilas do aldeamento turístico Sand Cliff, no Algarve. Para começar foi necessário perceber qual a motivação da intervenção na fase de projeto, com recurso à análise e interpretação do projeto de arquitetura das moradias.

Recorreu-se à utilização de um programa de simulação dinâmica - *DesignBuilder* -, de metodologias de reconhecimento das variáveis com impacto na eficiência global do Projeto, com vista a apoiar o Promotor e o Arquiteto na tomada de decisão informada.

Assim, pretende-se promover os estudos iniciais que permitam aferir as condições que resultem em edifícios com reduzidas necessidades de energia.

Em síntese os objetivos são:

- Identificação das variáveis com impacto na eficiência global do Projeto;
- Construção do modelo e simulação dinâmica do comportamento do edifício e análise dos resultados, combinando as diferentes variáveis;
- Análise e comparação de resultados para diferentes combinações;
- Proposta de um processo formal de avaliação das grandes variáveis em fase inicial de Projeto, como instrumento de apoio à decisão, visando soluções globalmente sustentáveis;
- Recolha de dados que constituam um guia para projetos futuros.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O Capítulo 1 integra o enquadramento e motivação que esteve na origem do tema do trabalho, os objetivos que se pretendem alcançar, bem como a estrutura da presente dissertação.

No Capítulo 2 surgem dois temas principais: a sustentabilidade e a energia, ambos aplicados ao setor dos edifícios. O primeiro inicia com a contextualização histórica do surgimento da sustentabilidade, com posterior apresentação das respetivas dimensões ambiental, social e económica. Após, apresenta-se sucintamente alguns dos sistemas de avaliação da sustentabilidade nos edifícios, nomeadamente o LiderA, LEED e BREAM. O primeiro tema encerra com a exposição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, formulados pela Organização das Nações Unidas, com foco para os objetivos que o *World*

Green Building Council acredita que a construção ecológica é capaz de contribuir para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis e eficientes em termos energéticos. O potencial da análise ambiental na fase de projeto é reconhecida e sustentada pelo mais recente relatório do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* –, devidamente exposto e fundamentado. No que concerne ao tema da energia, e após a explicação da sua importância para o estudo em causa, são apresentados os consumos de energia nos diferentes setores, com foco para o setor da construção e apresentação das necessidades de consumo de energia nos edifícios. O consumo exagerado de energia nos edifícios, induz responsabilidade às equipas de projeto de formular medidas de atuação com vista à redução do consumo de energia, pelo que se hierarquizam as prioridades de projeto. De seguida, apresenta-se o conceito de inércia térmica e a sua importância nos edifícios. Em seguimento surge ainda a apresentação dos parâmetros envolvidos no cálculo energético dos edifícios. O capítulo encerra com o tema da eficiência energética dos edifícios e respetiva certificação, com enquadramento normativo nacional.

O Capítulo 3 corresponde ao tema da simulação dinâmica do comportamento energético dos edifícios. Inicia com a apresentação e contextualização do aparecimento dos programas computacionais de simulação de edifícios. As metodologias de cálculo são apresentadas tendo em conta a normalização internacional e respetiva necessidade de adaptação à regulamentação da construção portuguesa. No seguimento deste tema apresenta-se ainda alguns dos *softwares* disponíveis para a simulação de edifícios, com destaque para o *DesignBuilder*, tendo sido a ferramenta que serviu de base à análise comparativa das soluções de projeto do presente estudo.

O Capítulo 4 corresponde à apresentação do caso de estudo e respetiva explicação dos conceitos de parametrização e modelação importantes, que serviram de base à simulação do edifício, no *DesignBuilder*. O capítulo termina com o reconhecimento dos parâmetros e variáveis em análise, que constituem os diferentes cenários de simulação.

No capítulo 5 apresenta-se a metodologia do trabalho que consta de três momentos. A primeira engloba a interpretação das cargas térmicas para aquecimento e arrefecimento, representativas dos diferentes cenários de variáveis. Após analisadas as potências de pico, o segundo momento corresponde à simulação de todos os cenários e comparação do respetivo consumo energético final ao ano e, conseqüente, tratamento e interpretação de resultados. Por fim, recorrer-se-á a uma ferramenta de otimização, disponibilizada pelo programa, que permite determinar o conjunto de soluções ótimas, que cumprem o objetivo de minimizar o consumo de energia final.

No capítulo 6 são expostas as considerações finais e as considerações focadas nos resultados. Também se faz o enquadramento do estudo energético no ciclo de vida da obra e os desenvolvimentos futuros.

2

ESTADO DE ARTE E FUNDAMENTOS

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma breve exposição do surgimento histórico do conceito de sustentabilidade, de modo a enquadrar a sua evolução no cenário internacional e nacional.

Em seguida, apresentam-se as três dimensões e respetivos objetivos da sustentabilidade, bem como a relevância da dimensão ambiental para o presente estudo. O seu foco consiste na preocupação com a natureza e o ambiente, bem como para a reflexão da necessidade de garantir a ressalva dos recursos naturais às gerações futuras e, por isso, a emergência das gerações atuais preferirem energias provenientes de fontes renováveis.

O conceito de sustentabilidade é enquadrado no setor da construção, nomeadamente ao nível dos edifícios, apresentando-se alguns dos sistemas de avaliação da sustentabilidade dos edifícios.

Posteriormente, são analisados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) formulados pela ONU e quais os mais relevantes e aplicáveis a edifícios “verdes”, articulados com os princípios da Agenda 2030 nas dimensões da sustentabilidade.

Para justificar o contributo da energia para a construção ecológica quantifica-se o consumo de energia por setor, nos últimos anos, com foco para os edifícios habitacionais e de serviços. Discute-se o papel da inércia térmica nos edifícios, demonstrando-se a sua importância e respetiva contextualização no estudo deste projeto.

Discutem-se quais os parâmetros envolvidos na análise térmica dos edifícios e que permitem o seu cálculo energético, bem como prever quais os consumos em fase de utilização.

Encerra-se o tema da energia com uma breve explicação da eficiência energética nos edifícios e a obrigatoriedade da respetiva certificação, em Portugal.

2.2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

2.2.1. O SURGIMENTO DO NOVO PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE

Na década de 60, começaram a surgir as primeiras modificações referentes ao clima, que desencadearam efeitos severos de degradação ambiental [6].

Esta constatação desencadeou uma conferência proposta pela ONU, na qual se concluiu que se a degradação ambiental mantivesse o rumo até então evidente, os recursos naturais não seriam suficientes

para cumprir as necessidades das gerações futuras. O foco da conferência passava pelo combate à poluição para melhorar as condições de vida da população e a qualidade do ambiente [6].

Em 1987, surge então o primeiro conceito de desenvolvimento sustentável apresentado no Relatório Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Neste momento, o cerne da preocupação refletia-se sobretudo no combate à poluição. Pelo que passa a ser concebido internacionalmente a possibilidade de desenvolver as comunidades sem comprometer o uso excessivo do planeta, tendo por base as necessidades das gerações presentes, mas também futuras. O conceito de Desenvolvimento Sustentável ganha amplitude e relevância na Conferência Internacional das Nações Unidas de 1992 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento [6].

A discussão sobre este tema foi progredindo nos anos que se seguiram, contudo foi em 2012 que se operou uma modificação face às conferências anteriores. A ONU passa a evidenciar interesse e preocupação também com questões sociais, nomeadamente com a necessidade de erradicar a pobreza dos povos mais desfavorecidos. Surge um novo movimento na tentativa de relacionar o conceito de desenvolvimento sustentável até então desenvolvido com os direitos sociais e com o aparecimento de uma economia “verde” [6].

Esta tendência tende a avançar o conceito de desenvolvimento sustentável à luz dos princípios da sustentabilidade [6]. Conforme se apresenta mais adiante, o conceito de sustentabilidade equilibra a sua preocupação ambiental com as dimensões de cariz social e económico. Assim, a ideia de desenvolvimento sustentável inicialmente apresentado foi sofrendo mutações ao longo dos anos até coexistir num modelo com destaque para a sustentabilidade.

No cenário nacional a ideia de sustentabilidade também tem vindo a ser disseminada, tendo sido estabelecidos objetivos e metas que respeitem as gerações presentes e futuras. Um dos mais recentes instrumentos neste âmbito é o Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) que estabelece as metas entre 2021 e 2030 para um futuro neutro em carbono. Para tal ambiciona cinco objetivos: descarbonização, eficiência energética, segurança energética, mercado interno e investigação e, por fim, inovação e competitividade [7].

2.2.2. DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

Após apresentado o conceito de sustentabilidade e respetivas dimensões, surge a necessidade de expor as abordagens de cada uma delas, bem como elevar a conexão e inter-relação das componentes ambiental, social e económica. Assim, tende-se a evidenciar que as preocupações ultrapassam a ideia de proteção ambiental, alinhando um novo paradigma de que o bem-estar é promovido e trabalhado sob um ponto de vista multidimensional [6].

O esquema da Fig. 2 ilustra os objetivos a atingir em cada uma das dimensões da sustentabilidade.

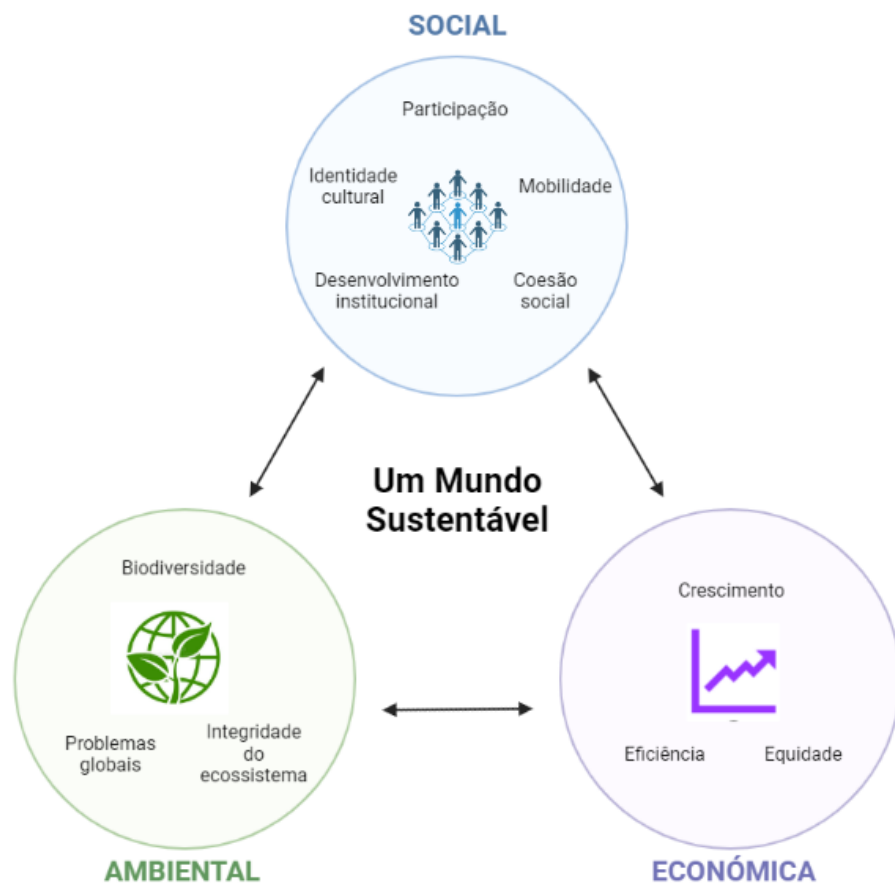


Fig. 2 - Objetivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão, adaptado de [1]

A dimensão social prioriza os direitos humanos e o bem-estar social, permitindo uma direta relação entre a qualidade de vida humana e a qualidade do meio ambiente. Os direitos sociais, como o direito à educação, higiene, saúde e residência, são direitos fundamentais e a que todos devem ter acesso. Deste ponto de vista, a componente social é responsável por promover a equidade dos bens e padrões de vida sendo, por isso, indissociável do conceito de sustentabilidade no objetivo de proclamar o desenvolvimento a longo prazo [6].

O fator económico alicerça valor na trilogia das dimensões da sustentabilidade, uma vez que apenas com uma economia responsável e segura é possível cumprir as necessidades exigidas para o bem-estar social e o equilíbrio ambiental. Contudo, o crescimento económico que exige a evolução das comunidades não se deve sobrepor ao investimento necessário para proteger o meio ambiente. Tendo em conta que este crescimento económico é limitado, deve ser equacionado um modelo de investimento justo que permita satisfazer as necessidades das gerações presentes e futuras, sem comprometer a salubridade do planeta [6].

Sob o ponto de vista ambiental, a qualidade de vida humana é alcançada se o meio ambiente for devidamente protegido e preservado. Contudo, medidas sérias e com resoluções imediatas de combate à poluição em todas as suas formas devem ser aplicadas, transpondo para a prática as conclusões retiradas de conferências e cimeiras do clima. Assim, é urgente elucidar as comunidades para a importância de apenas extrair da natureza os recursos que fomentam o seu desenvolvimento [6].

A ressalva de que o planeta tem a capacidade de se equilibrar sozinho e, que a sua degradação surge pela existência de vida humana na Terra, é fundamental. Por isso, a consciência comum de que as ações da sociedade devem ser éticas e criteriosas, de modo a minimizar o seu impacto enquanto membros do ecossistema, revela-se imperativo [6].

Assim, as dimensões da sustentabilidade carecem de uma aplicação conjunta, sendo dinamizadas de forma multidisciplinar para alcançar a sustentabilidade, garantindo o respeito pelos direitos das gerações presentes e futuras.

2.2.3. SUSTENTABILIDADE NOS EDIFÍCIOS

2.2.3.1. Aspetos Gerais

O modo de utilização dos edifícios está em constante mutação, sendo dependente dos níveis de conforto exigidos pelos respetivos ocupantes. A evolução do mercado da construção conduz ao desenvolvimento e atualização dos materiais, o que impele ao consumo e substituição por soluções cada vez mais atuais. Deste modo, a integração de produtos recicláveis na construção é justificada, uma vez que o consumidor tem a perceção do tempo de vida útil dos materiais e dos constrangimentos que advêm da substituição por produtos mais eficientes [8].

A equipa de conceção dos espaços é responsável por desenvolver soluções cada vez mais rentáveis, sob o ponto de vista económico e ambiental. Atualmente, o cerne da preocupação consiste em garantir a harmonia entre o ambiente construído e a inclusão de uma abordagem tecnológica e digital nas criações [8]. Sem negligenciar a preservação do meio ambiente, contribuindo para a minimização das emissões de gases com efeito de estufa.

A importância do setor da construção em qualquer sociedade é inquestionável, tendo em conta a sua influência sob o ponto de vista económico, social e ambiental. Do lado do investimento, a sua cooperação é bastante positiva, devido ao volume de empregos que gera, ao seu contributo para o PIB e pela oportunidade de se relacionar com outros mercados. Contudo, o impacte ambiental que propicia é também muito significativo. Assim, torna-se patente a necessidade de adotar um modelo sustentável para o setor da construção [1].

Em 1994, Charles Kibert sugeriu a seguinte definição para o conceito de construção sustentável: *“a criação e gestão responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos”* [9]. O principal foco estende-se à renovação do consumo de energia, água e materiais, sendo mínimos os impactes ambientais associados.

Tendo em conta a abordagem da tripla dimensão da sustentabilidade, apresentada na Fig. 2 o desempenho funcional do edifício é traduzido pela dimensão social, visto que se destina a servir as necessidades dos utilizadores.

A principal vantagem de construir “sustentável” reflete-se sobretudo no contributo para um futuro melhor [8]. Sendo imprescindível progredir para um novo padrão, adotando soluções que respeitem o ambiente e a sociedade. A tomada de decisão deve ser alimentada de informação atualizada e em concordância com as necessidades atuais dos consumidores, bem como incorporar conhecimento dos mais recentes produtos no mercado.

A aprendizagem também deve ser sustentada com a experiência de outros países e eventuais erros cometidos no passado.

Os edifícios são projetados para um tempo de vida útil de 10, 25 ou 50 anos, sendo necessário garantir a sustentabilidade durante todo o seu ciclo de vida. Usualmente, este estudo provém da análise dos

consumos energéticos, das necessidades de manutenção e da produção de resíduos. Prever o método de desconstrução ou reutilização do edifício revela-se uma análise adicional inteligente, na medida em que contribui para a minimização da produção de resíduos [8]. Contudo, não se pretende aprofundar este tema, pois sai fora do âmbito desta dissertação.

Na tentativa de colmatar e evitar possíveis dilemas que tendem a florescer numa fase posterior do processo, os profissionais da construção tendem a conciliar o conhecimento com ferramentas, em geral tecnologia BIM – *Building Information Modeling*, que lhes permitem desenvolver os trabalhos de simulação virtual numa fase mais a montante. Este método de atuação pretende usufruir das vantagens de antecipar e prever as complicações que possam vir a surgir, e da possibilidade de as resolver numa fase que não confere complicações ao projeto [8].

À medida que a consciencialização comum para a sustentabilidade avança, com ela vão evoluindo e crescendo novos conceitos a aplicar para obter uma construção mais sustentável. O conceito “0” é exemplo disso, visto que sob o ponto de vista energético defende a gestão eficiente dos edifícios e a cessação dos impactos ambientais e degradação dos solos desencadeados pelo uso da energia. Esta ideologia é posta em prática através do recurso a fontes renováveis, pela promoção da manutenção dos edifícios, tornando-os mais produtivos e menos consumistas e pela demanda “0” poluição ambiental [10].

O presente estudo tem em vista a análise ambiental das decisões de projeto na conceção dos edifícios e, por isso, a componente ambiental ilustra a dimensão da sustentabilidade na qual se incide o foco. No entanto, é sabido que as decisões tomadas em prol de promover um contributo vantajoso para o meio ambiente representam também um impacto direto nas dimensões social e económica. Pretende-se demonstrar que as medidas adotadas com vista à preservação do meio ambiente, como a redução das emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera e a redução das necessidades energéticas, induzem uma influência positiva no consumo final de energia como também promovem o conforto térmico do ambiente interior dos edifícios.

2.2.3.2. Sistemas de Avaliação de Edifícios

O progresso na avaliação ambiental dos empreendimentos surge com a classificação do desempenho dos edifícios motivada por organizações governamentais. A preocupação com o conceito de sustentabilidade na construção desencadeou a integração voluntária de sistemas de avaliação e certificação das características ambientais dos edifícios. Esta forma prática de avaliar mecanismos de melhoria contínua permite a ponderação de decisões na fase de projeto, na qual ainda são aceites possíveis alterações [1].

O sistema de avaliação ambiental dos edifícios rege-se segundo três princípios:

- Definição de **critérios e objetivos de avaliação**, que conduzam a melhorias de desempenho ambiental do edificado. Este âmbito pode atuar de um modo singular ou adotar uma abordagem multicritério. A redução do consumo de energia é o critério com principal foco de atuação da equipa de projeto, contudo é de realçar que uma adequada avaliação do desempenho ambiental não surge com base num único critério, mas na integração de diversas vertentes. A análise de vários critérios inclui os consumos de recursos (água, energia, materiais), a produção de resíduos, a emissão de poluentes e o nível da qualidade do ar interior [1];
- Atribuição de **escalas de desempenho**. Quanto melhor o desempenho do edifício maior é a pontuação atribuída a determinados aspetos [1];

- Atribuição de uma **ponderação**, que reflete a importância dada por cada sistema a cada critério. Assim, a ponderação surge como uma forma de demonstrar o desempenho ambiental da unidade construída. [1].

Atualmente, existem vários métodos de avaliação da sustentabilidade da construção, de seguida apresenta-se, sucintamente, os sistemas LiderA, LEED e BREEAM.

a) Sistema LiderA

O LiderA é um sistema voluntário desenvolvido em Portugal que orienta e certifica espaços na procura de construções confortáveis, eficientes e com bom desempenho ambiental, social e económico. O acrónimo significa ‘Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável’, sendo um sistema cuja liderança é voltada para o ambiente durante as diferentes fases do ciclo de vida do empreendimento. O sistema pode ser aplicado a diferentes escalas (moradias, prédios e zonas urbanas) e a diferentes tipologias (habitação, comércio, serviços e turismo) [11].

O sistema organiza-se segundo seis princípios que se subdividem em vinte áreas de intervenção, de acordo com a Fig. 3:

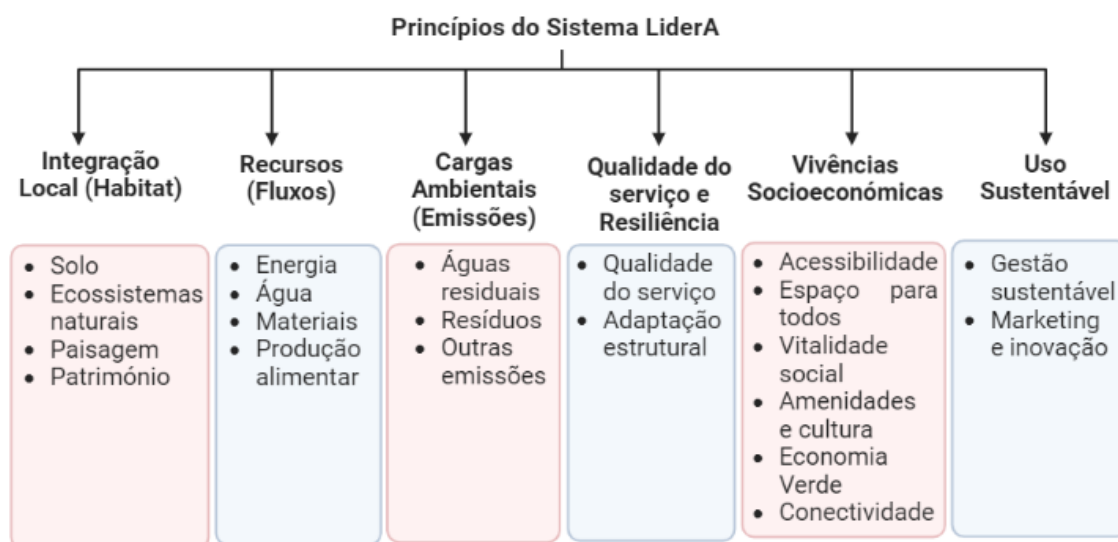


Fig. 3 - Vertentes e respetivas áreas de intervenção do LiderA, adaptado de [11]

Segundo o sistema, o desempenho é avaliado de acordo com diferentes níveis de desempenho (1 a 10 ou superior) que evoluem com a tecnologia, sendo comunicados sob a forma de classes (de G a A+++). O grau de sustentabilidade é traduzido em classes de bom desempenho crescentes: o primeiro nível ou classe E corresponde ao desempenho tecnológico mais usual, o que representa a prática habitual. A classe C (superior a 25% à prática, a classe B (37,5%) e a classe A (50% ou fator 2). A classe A+, indicadora de melhor desempenho está associada a um fator de melhoria de 4 e a classe A++ a um fator de melhoria de 10, quando comparadas com a prática usual. A classe A+++ é indicativa de um estado regenerativo [11].



Fig. 4 - Níveis de desempenho [11]

A classificação final é obtida através da ponderação das vinte áreas de intervenção. A Fig. 5 representa as ponderações obtidas para cada uma das áreas, sendo a energia a de principal destaque, pontuando 15%. A classificação final das diferentes vertentes perspetiva o desempenho na procura da sustentabilidade [11].



Fig. 5 - Ponderação, em percentagem, para as 20 áreas do Sistema LiderA [11]

b) Sistema LEED

O LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design* foi desenvolvido nos Estados Unidos, pelo *US Green Building Council*, USGBC. Esta organização fornece uma estrutura para o desenvolvimento de projetos de edifícios “verdes”, bem como estratégias para promoção da sustentabilidade das edificações [12].

O sistema de certificação LEED baseia-se num programa voluntário que visa avaliar o desempenho ambiental do conjunto do edifício, tendo presente uma análise do seu ciclo de vida. Face o tipo de utilização, o LEED dispõe de várias versões do sistema [1]:

- LEED-NC (*New Construction and Major Renovations*), para novas construções comerciais e projetos de renovação com dimensão considerável;
- LEED-EB (*Existing Building*), indicador para operacionalização, manutenção e melhoria sustentável de edifícios existentes;
- LEED-CI (*Commercial Interiors*), para espaços comerciais interiores;
- LEED-CS (*Core and Shell*), para os elementos dos edifícios (como a estrutura e o sistema de AVAC central);
- LEED-H (*Home*), para habitações;
- LEED-ND (*Neighborhood Development*), integra os princípios do conceito *smart growth* vocacionado para o desenvolvimento da envolvente e construção “verde”.

O LEED para novas construções tem por base uma lista de verificação de desempenho do projeto, na qual integram as seguintes áreas:

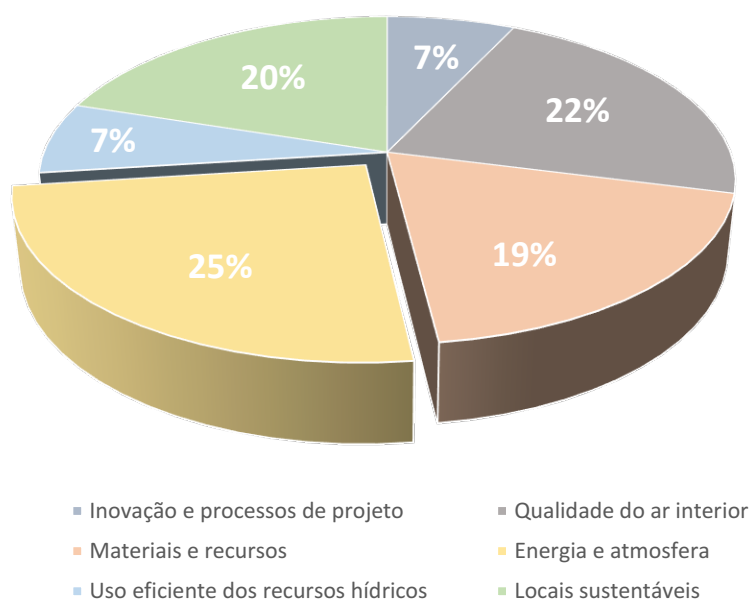


Fig. 6 - Ponderação das áreas gerais do LEED-NC, adaptado de [1]

Cada uma das áreas é subdividida em áreas específicas, com possíveis pré-requisitos obrigatórios. Cada área específica é dotada com um ou dois pontos e a ponderação final é feita a partir da soma dos valores dos critérios cumpridos. O total de pontos corresponde à atribuição de um dos tipos de certificação apresentados na Fig. 7 [10].



Fig. 7 - Escala de certificação do LEED [13]

Com o objetivo de adquirir o máximo de créditos possíveis, o sistema LEED recomenda estratégias a adotar para as diversas áreas. No que diz respeito à energia, o sistema alerta para a importância de desenvolver um modelo preliminar de otimização do desempenho energético, com foco para a redução das necessidades de climatização. Para tal, as equipas de projeto devem desenvolver um modelo do projeto inicial, que permita avaliar as consequências das opções tomadas na fase de projeto, o que fornece uma estimativa antecipada do desempenho energético do edifício. Outra abordagem que o LEED recomenda consiste em apoiar as decisões de projeto com análises de energia anteriores de projetos semelhantes ou resultados de publicações referentes a modelação de energia, embora os resultados sejam menos específicos [14]. Sendo o caso de estudo do presente trabalho a simulação de um edifício, em regime dinâmico, numa fase inicial do projeto, para avaliar as melhores decisões com vista a minimizar as necessidades energéticas, a justificação da importância do tema ultrapassa motivos de sensibilização comum, sendo a abordagem LEED uma justificação para a necessidade de integração desta análise inicial em projetos futuros.

Sendo o LEED uma certificação conforme as normas energéticas dos Estados Unidos da América, a sua utilização em contexto nacional obriga à adaptação e reavaliação das normas energéticas de Portugal, o mesmo se aplica ao conforto térmico [10].

c) Sistema BREEAM

O sistema BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* –, desenvolvido no Reino Unido, em 1988, pelo BRE (*Building Research Establishment*), tornou-se uma das ferramentas mais usadas para avaliar o desempenho ambiental do edifício, sendo aplicado a vários usos como habitações e escritórios [1], [10].

A certificação no sistema BREEAM é feita através da atribuição de créditos, sempre que certos requisitos organizados por categorias são cumpridos. A cada categoria é atribuído um determinado peso, de acordo com a relevância dada pelo sistema para a tipologia do edifício em causa. A avaliação é feita por avaliadores independentes e autorizados pelo BRE, com recurso a guias e a uma lista de verificação para obter a certificação do edifício [1].

O BREEAM promove a utilização de melhores práticas ambientais, com vista à definição de um padrão de edifícios de elevada qualidade, designados por “bio edifícios” [10]. A abordagem do sistema assenta nas diferentes fases do processo, desde a avaliação inicial, dimensionamento, gestão e operação, como também no controlo de qualidade [1].

Este sistema avalia o desempenho ambiental de vários tipos de utilização como, por exemplo [1]:

- Edifícios habitacionais (*EcoHomes*);

- Edifícios para escritórios (*Offices*);
- Unidades industriais (*Industrial BREEAM*);
- Edifícios comerciais (*BREEAM Retail*);
- Outras utilizações (*Bespoke BREEAM*).

O sistema *EcoHomes* para edifícios habitacionais tem por base a avaliação de categoriais, divididas em subcategorias, às quais são atribuídos requisitos para obtenção de créditos [10]. De acordo com a Fig. 8 é de salientar o peso das categorias energia e poluição, que influenciam a qualidade de vida humana e a qualidade do ar.

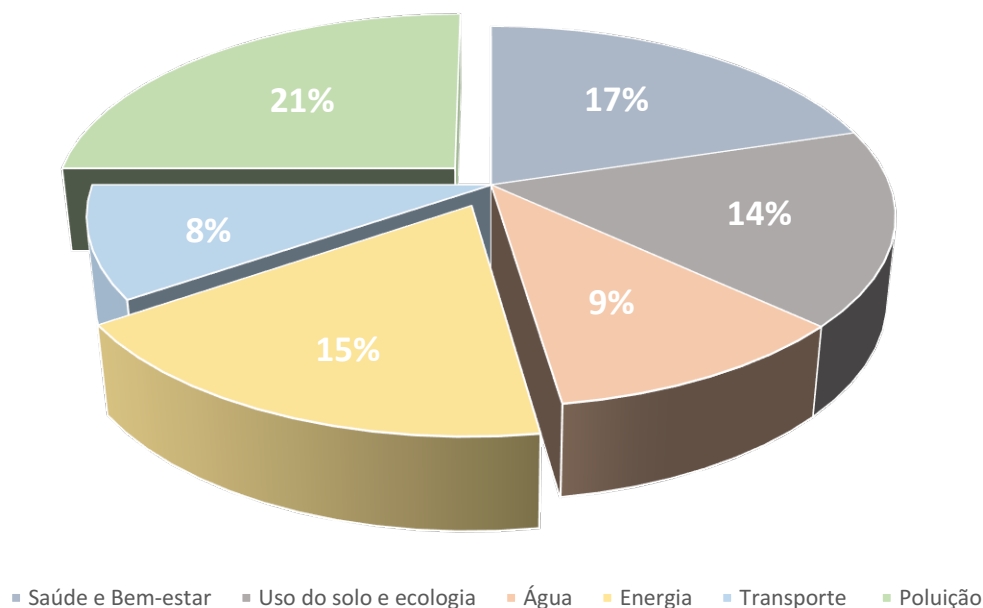


Fig. 8 - Categorias e respetiva ponderação, em percentagem, no *EcoHomes* [10]

A classificação atribuída a um edifício resulta da soma dos créditos atribuídos a cada categoria. Consoante o valor obtido, o edifício é classificado como [1]:

- Certificado (*Pass*), se atinge 36% dos créditos;
- Bom (*Good*), se atinge 48% dos créditos;
- Muito Bom (*Very Good*), se atinge 60% dos créditos;
- Excelente (*Excellent*), se atinge 70% dos créditos.

Conforme a necessidade verificada no LEED, para a adaptação dos valores de desempenho para a utilização do sistema em contexto nacional, também no sistema BREEAM o seu uso frequente em habitações e escritórios induz a necessidade de recorrer a possíveis ajustes, nomeadamente, nos métodos de cálculo do balanço energético, adaptação das exigências dadas à água, à iluminação, ao isolamento térmico, mas também a necessidade de reduzir a elevada importância dada à madeira [10].

2.2.4. OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, APLICADOS AO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A atual degradação do meio ambiente coloca em risco a qualidade da vida humana, uma vez que já é possível constatar os diversos malefícios, ao nível da saúde humana e escassez de recursos naturais,

provocados essencialmente pela emissão de gases tóxicos para a atmosfera. A urgente necessidade de promover um novo modelo de desenvolvimento sustentável, sem comprometer as necessidades das gerações futuras, mobiliza uma reflexão para um equilíbrio ambiental justo e seguro [6].

Surge então, em 2015, um novo paradigma aprovado pelos líderes mundiais, na cimeira promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU) com o intuito de cumprir a agenda de 2030 para o desenvolvimento sustentável, que integra uma coletânea de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com vista a garantir a qualidade de vida humana sem colocar em risco o meio ambiente [15].

Segundo o secretário-geral da ONU, Ban Ki-moon, *“Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são a nossa visão comum para a Humanidade e um contrato social entre os líderes mundiais e os povos. São uma lista das coisas a fazer em nome dos povos e do planeta, e um plano para o sucesso”* [15].

Conforme constatado, é evidente uma enorme conexão sob o ponto de vista ambiental e o bem-estar social e, por isso, os ODS, representados na Fig. 9, concernem finalidades que promovem a paz, a justiça e instituições eficazes [6].



Fig. 9 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável [16]

A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável é bastante ampla e ambiciosa o que exige uma mobilização comum e, por isso, estabelecer novas parcerias revela-se fundamental para a concretização dos objetivos. É da responsabilidade dos governos de cada país, colocar em prática a resolução da ONU, contudo o sucesso depende da participação coletiva e integrada de todos os países [15].

Num contexto aplicado ao setor dos edifícios, o WorldGBC defende melhorias práticas com vista a atingir as metas de descarbonização e sustentabilidade de 2030 propostas pela ONU. Deste modo, incentiva a mudança e atualização das organizações por novas abordagens e sistemas que promovem o desenvolvimento sustentável [17]. Sob o ponto de vista do WorldGBC, os edifícios representam uma oportunidade para reduzir o consumo de energia e água, mas também para melhorar a qualidade de vida e o bem-estar social [18].

De entre os ODS nomeados, o WorldGBC acredita que a construção ecológica é capaz de contribuir significativamente, dando resposta a alguns desses objetivos, dos quais se destacam:

Objetivo 3: Saúde de qualidade. Promover a saúde mental e o bem-estar, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças e permitir a igualdade de acesso a serviços de saúde são os principais aspetos abordados neste objetivo, que integra a Agenda 2030 [19]. Cada vez mais são as evidências que asseguram que a forma como um edifício é projetado tem impacto direto na saúde e bem-estar dos ocupantes. Assim, o projeto global “*Better Places for People*” desenvolvido pelo WorldGBC visa a construção de edifícios igualmente favoráveis sob o ponto de vista ambiental e social. Ou seja, a promoção de edifícios que adotem uma construção “verde”, com melhorias, por exemplo, ao nível da qualidade do ar e da vegetação e que contribuem para a redução do número de doenças pulmonares. Consequentemente, a redução das emissões dos edifícios colabora na redução da poluição e melhora a qualidade do ar, promovendo a qualidade de vida dos cidadãos [18].

Objetivo 7: Energias renováveis e acessíveis. Este objetivo visa garantir o acesso à energia barata, sustentável e renovável para todos [20]. Os edifícios “verdes” preferem o uso de energias renováveis, geralmente mais acessível, em detrimento de energias provenientes de combustíveis fósseis. Para além dos benefícios económicos, as energias renováveis permitem reduzir as emissões de carbono e minimizar os efeitos para a atmosfera. Projetar edifícios que usem energia limpa proveniente de fontes renováveis locais, propicia o acesso global ao ideal da eficiência energética [18].

Objetivo 8: Trabalho digno e crescimento económico. Promover um crescimento económico sustentado, incluindo emprego digno e produtivo para todos [21]. O crescimento dos edifícios “verdes” induz a necessidade de aumentar e melhorar o número de empregos. Até à receção final, muitas são as fases do processo que inviabilizam a comunicação de especialidades diferentes, fornecendo mais oportunidades de emprego. Assim, deve-se tomar como exemplo outros países, como África do Sul e incentivar as empresas a integrar questões socioeconómicas nos seus projetos [18].

Objetivo 9: Indústria, Inovação e Infraestruturas. Este objetivo visa desenvolver infraestruturas de qualidade, sustentáveis e a preços baixos [22]. Segundo a *New Climate Economy*, nos próximos 15 anos deve ser alocado um investimento no setor das infraestruturas com vista a atingir emissões líquidas zero. Deste ponto de vista, os edifícios “verdes” são o mais próximo de conseguir igualar esta realidade, uma vez que impulsionam a inovação e a tecnologia no sentido de garantir edifícios cada vez mais sustentáveis [18].

Objetivo 11: Cidades e comunidades sustentáveis. Propõe garantir o acesso à habitação segura, adequada e a um preço justo, e aos serviços básicos e melhorar as condições nos bairros de lata [23]. “Os edifícios são os alicerces das cidades” e, por isso, é fundamental que sejam pensados e concedidos de modo a promover a sustentabilidade das cidades. Para tal, os edifícios “verdes” garantem a qualidade de vida para todos e permitem atuar ao nível do desenvolvimento de espaços públicos seguros e adequados às relações económicas, sociais e ambientais [18].

Objetivo 12: Produção e consumo sustentáveis. Promover uma gestão sustentável mediante o uso eficiente dos recursos naturais e o manuseamento ambientalmente saudável dos produtos químicos e resíduos [24]. Face os princípios da Economia Circular, o setor da construção desempenha um papel importante no combate aos desperdícios existentes nos edifícios, através da implementação de medidas de redução, reciclagem e reutilização. Para além de prever medidas a longo prazo de demolição seletiva, a construção ecológica inclui a adoção de quadros de produção recicláveis e com reuso de produtos e materiais, dando-lhes uma nova finalidade [18].

Objetivo 13: Ação climática. Este objetivo da ONU impulsiona a adoção de medidas urgentes para combater os impactos provocados pela mudança do clima. Promover a instrução social sobre a mitigação, adaptação e redução dos riscos advindos de alterações climáticas e catástrofes naturais [25]. Os edifícios são responsáveis por mais de 30% de emissões de gases com efeito de estufa para a

atmosfera, o que agrava o risco de alterações climáticas. Os edifícios “verdes” constituem uma solução inteligente a este combate, na medida em que contribuem com mensurações para limitar os efeitos das alterações climáticas, como a eficiência energética [18].

Objetivo 15: Proteger a vida terrestre. Promover a gestão sustentável das florestas, combater a desflorestação e desertificação, evitar a degradação de habitat naturais e a perda de biodiversidade [26]. A conceção de edifícios “verdes” reconhece a importância de integrar a flora local aos espaços e, com isso, incluir medidas para aumentar e preservar a biodiversidade. Para além disso, a produção de materiais deve ser conscienciosa, optando por uma recolha responsável e saudável dos produtos que a natureza oferece, como é o caso da madeira que surge com importância no setor da construção [18].

Objetivo 17: Parcerias para a implementação dos objetivos. Promover a parceria global para o desenvolvimento sustentável, nomeadamente ao nível da mobilização de recursos financeiros destinados aos países em desenvolvimento [27]. As capacidades que os edifícios oferecem nem sempre foram reconhecidas e, por isso, organizações como o WorldGBC uniram-se no sentido de promover uma aliança global para a construção, impulsionando melhorias no setor. Assim, é de confiar que a amplitude do impacto será maior se houver um esforço coletivo para garantir a sustentabilidade do ambiente construído [18].

Os ODS representam um propósito de ação mediante o respeito pelo ambiente, desenvolvimento social e crescimento económico. Sob este ponto de vista é de constatar que os propósitos dos ODS se evidenciam similares às dimensões da sustentabilidade. Por isso, resta consubstanciar que as duas abordagens surgem na tentativa de alcançar em pleno o pressuposto da sustentabilidade em prol da garantia das necessidades futuras.

O presente trabalho dedica-se sobretudo a uma análise técnica ao programa base de arquitetura, com o objetivo de avaliar a importância e o possível impacto das decisões de projeto no consumo final de energia nos edifícios, com vista à redução das necessidades energéticas. Sendo este o propósito, é de confiar que dos ODS apresentados com foco na conceção de edifícios “verdes”, o objetivo 13 defende a promoção da gestão sustentável dos recursos e o seu contributo para melhorar o clima, por meio da eficiência energética e, por isso, serve de base ao desenvolvimento deste estudo.

Mais recentemente, em março do presente ano, o IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (organização científico-política no âmbito da ONU) – finalizou a síntese do sexto relatório de avaliação das mudanças climáticas. O relatório resume o estado de conhecimento da mudança do clima, bem como os seus impactos e riscos generalizados com possíveis adaptações e medidas de mitigação. Para contextualização, o resumo encontra-se estruturado em três partes: A. Exposição da situação atual e tendências, B. Mudanças climáticas futuras, riscos e respostas de longo prazo e C. Respostas a curto prazo. Sendo que a presente referência assenta no último tópico, essencialmente nas medidas de mitigação ao nível dos edifícios. De acordo com o relatório síntese, em todos os setores e sistemas surge a necessidade de incorporar transições rápidas e de longo alcance para atingir reduções de emissões, que permitam garantir um futuro habitável e sustentável para todos. Ao nível dos sistemas urbanos é reconhecido um enorme potencial para alcançar as referidas reduções e promover o desenvolvimento sustentado do clima. Os principais elementos de adaptação e mitigação das cidades incluem a consideração dos impactos e mudanças climáticas logo na fase de projeto; a importância do projeto eficiente, construção, modernização e uso de edifícios; a minimização do consumo de energia e sua suficiência. Com qualificação média de confiança, surgem os edifícios dotados de infraestrutura “verde/natural” e “azul” que reduzem o uso de energia e o risco de eventos extremos. Assim, segundo o IPCC, a análise preliminar e eficiente feita na fase de projeto é uma das medidas de alta confiança que fornece benefícios para mitigação, adaptação, saúde e bem-estar humano. Este método de atuação

reconhece a vantagem e importância do projeto na análise ambiental e na minimização dos riscos decorrentes das alterações climáticas [28].

2.3. ENERGIA E EDIFÍCIOS

Em 2016, a Comissão Europeia apresentou o Pacote Energia Limpa – Energia Limpa para todos os Europeus –, com o intuito de impulsionar o enquadramento normativo para a transição energética entre 2021 e 2030 e para a criação da União da Energia e da Ação Climática na União Europeia. Este movimento prioriza a eficiência energética, valorizando o uso de energias provenientes de fontes renováveis com potencial abandono de energias produzidas a partir de combustíveis fósseis [29].

Os edifícios são responsáveis por 36% das emissões de gases com efeito de estufa e por 40% dos consumos energéticos da União Europeia e, por isso, apresentam uma forte oportunidade de contribuição para o combate às alterações climáticas, através da otimização da eficiência com consequente redução dos consumos e emissões. A priorização da eficiência energética, implica uma conceção de edifícios com necessidades de energia quase nulas, o que permite aumentar os padrões de segurança e conforto dos utilizadores [29].

O ambicioso objetivo de desenvolver um sistema imobiliário energético sustentável impulsionou um conjunto de medidas, nomeadamente, a imposição de inspeções periódicas dos sistemas técnicos de aquecimento, arrefecimento ou ventilação, para avaliar os respetivos desempenhos e identificar eventuais adaptações para otimizar os sistemas energéticos. Instalação de sistemas de automatização e controlo, com capacidades de monitorização e registo dos consumos de energia e da eficiência energética, nos edifícios com maiores necessidades energéticas. Para além disso, devem ser atribuídos incentivos financeiros para promover a renovação dos edifícios existentes e a melhoria do desempenho energético. Os edifícios novos estão sujeitos à aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético [30]. Estas medidas de coação podem implicar a revisão normativa e regulamentar aplicada ao desempenho energético dos edifícios e, consequentes adaptações e/ou alterações impostas por possíveis dificuldades encontradas ao cumprimento dos objetivos do parque edificado moderno e com reduzido efeito energético [29].

2.3.1. CONSUMO DE ENERGIA

A avaliação de impacto ambiental tem em conta diversos fatores, sendo a energia um dos indicadores com maior importância, uma vez que implica um elevado consumo de combustíveis fósseis e contribui significativamente para a poluição do planeta, devido à quantidade de poluentes que emite [10].

A problemática do elevado consumo de energia relaciona-se também com o aumento do número de pessoas com acesso a eletricidade, contudo a queima de gás e carvão para produção de eletricidade, nos diferentes setores, surge como a fatia mais significativa sob o ponto de vista ambiental [9].

A importação da energia, em Portugal, apresenta valores significativamente elevados, com uma percentagem superior a 80% do consumo total, o que compromete o crescimento do país [10]. Esta dependência, aliada à necessidade de minimizar o contributo do processo produtivo de energia para o aquecimento global, induz medidas de atuação com vista à redução do consumo de energia. Por isso, importa conhecer a sua ponderação em cada um dos setores e avaliar a sua relevância, nomeadamente ao nível dos edifícios.

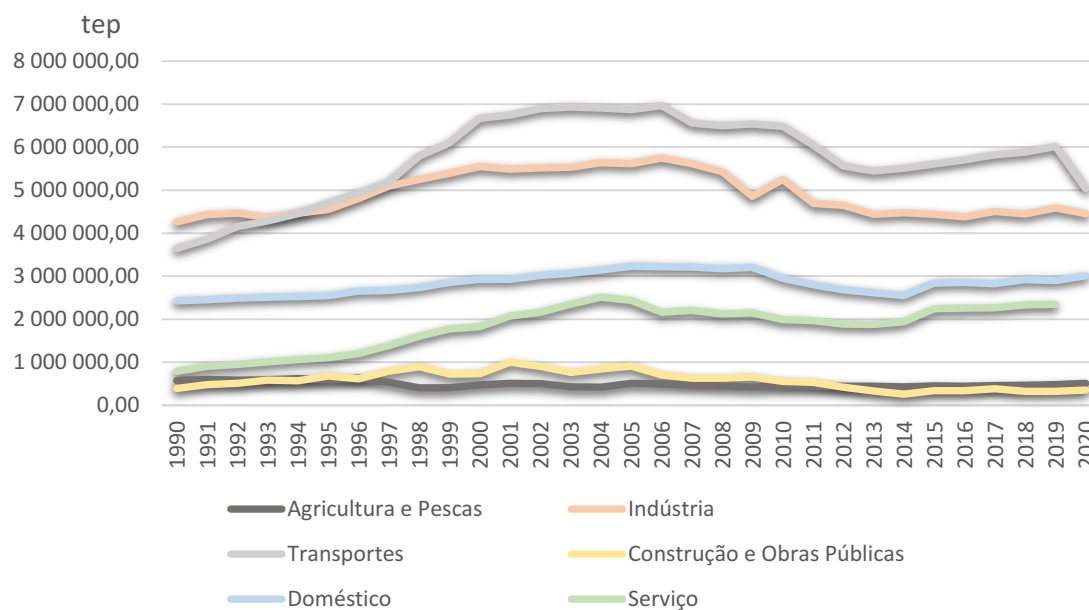


Fig. 10 - Consumo de energia final por setor, em Portugal, adaptado de [31]

Como energia final entende-se a energia distribuída aos clientes dos diferentes setores e representa a forma como a energia é comercializada [32]. Deste modo, se o esforço ao nível dos edifícios consistir na redução das necessidades energéticas, incluindo melhorias passivas, a dependência dos ocupantes sobre a energia disponível aos edifícios é atenuada. Sendo a parcela disponível o correspondente à energia final, então a sua diminuição implica um menor custo da fatura de energia dos clientes.

Em Portugal, o consumo de energia final, no ano de 2020, foi de 15,5 Mtep e, conforme o gráfico da Fig. 10, o setor da construção não apresenta valores muito elevados quando comparado com o setor dos transportes e da indústria [31]. No entanto, ao nível dos edifícios (doméstico e serviços) o consumo de energia final pode ser diminuído, através da promoção de medidas de melhoria do desempenho energético dos edifícios.

A construção para além de atuar ao nível dos edifícios, de habitação e serviços, pode também ampliar a sua colaboração ao nível do setor industrial, na medida em que pode contribuir com a conceção de edifícios industriais com necessidades de energia reduzidas.

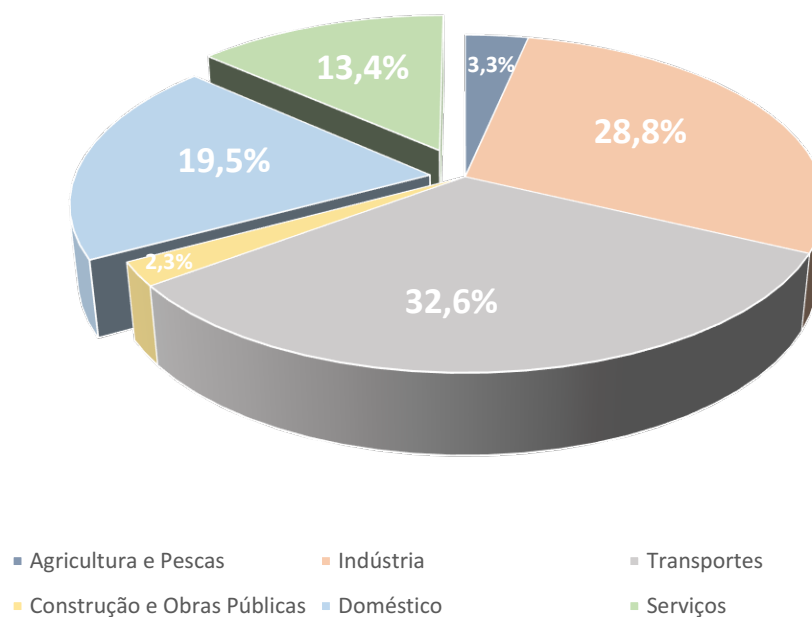


Fig. 11 - Consumo final de energia por setor, em Portugal, no ano de 2020, adaptado de [31]

Segundo os dados recolhidos pelo Observatório da Energia, no ano de 2020, o setor dos transportes foi o maior consumidor de energia, com 32,6% do consumo total. O consumo no setor doméstico foi de 19,5%, 13,4% para serviços e 2,3% para construção e obras públicas. O consumo de energia final na indústria de 28,8% e a agricultura e pescas com uma percentagem pouco significativa de 3,3% [31].

O consumo final de energia nos edifícios (doméstico e serviços), em 2020, foi de 5,1 Mtep, tendo-se observado uma redução do valor obtido em 2004 de 5,7 Mtep [31]. Este valor corresponde a 32,9% da energia total consumida em Portugal e, por isso, o setor dos edifícios ganha tanta importância quanto o setor dos transportes. Sendo esta percentagem suscetível de ser reduzida, facilmente se reconhece o potencial dos edifícios para reduzir as necessidades energéticas e, consequentemente, reduzir as emissões [9].

Apesar de se verificar uma tendência de redução no consumo de energia nos edifícios, este parâmetro ainda se revela um valor bastante elevado e amplia com a quantidade e o tipo de utilização dos equipamentos. A qualidade dos edifícios e a necessidade de garantir o conforto dos ocupantes contribui para a elevada taxa de consumo de energia nos edifícios, que se evidencia superior à capacidade de produção nacional. A Fig. 12 apresenta as principais necessidades de consumo de energia nos edifícios, dependentes da utilização de eletrodomésticos, equipamentos de entretenimento, iluminação, climatização e automatização [8], [10].

No setor doméstico, para além das necessidades descritas, acresce ainda o consumo dos eletrodomésticos de cozinha, os equipamentos de refrigeração e confeção dos alimentos [8]. Este consumo não é necessariamente generalizado, tendo em conta que depende diretamente do rendimento de cada família, do tipo de equipamentos existentes e da forma como estes são utilizados. Quanto ao consumo de energia final por habitação, a preparação de refeições destaca-se como sendo a maior fatia deste consumo, pontuando 51%. Os equipamentos elétricos e iluminação apresentam percentagens na ordem dos 25% e 23%, respetivamente. O consumo de energia relativo ao ar condicionado revela-se exíguo, representando 1% [33].



Fig. 12 - Necessidades de consumo de energia nos edifícios, adaptado de [8]

2.3.2. REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA, OPÇÕES DE PROJETO

Tendo em conta a relevância dos valores apresentados relativos ao consumo de energia nos edifícios, é de esperar que os profissionais adotem medidas na fase de projeto com o intuito de contribuir para a redução destes consumos e, consequentemente, melhorar o desempenho térmico e energético dos edifícios.

De acordo com a Fig. 13, o modo de atuação incide essencialmente em três níveis, sendo que o primeiro diz respeito à minimização do consumo de energia com métodos passivos. Se estas medidas não forem suficientes deve-se tomar como segunda estratégia a instalação de equipamentos mais eficientes e que compensem o consumo de energia. Em terceiro plano resta a adoção de sistemas com energia proveniente de fontes renováveis.

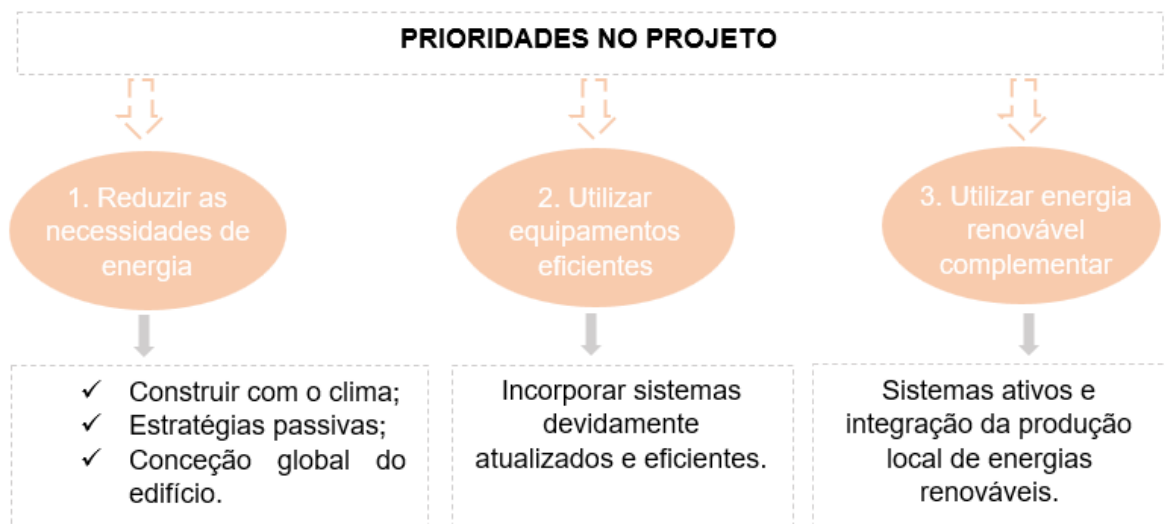


Fig. 13 - Prioridades de projeto para redução do consumo de energia

Para garantir a sustentabilidade na fase de projeto interessa conhecer quais as características climáticas do local, nomeadamente ao nível da temperatura, sabendo quais os graus-dia de aquecimento, no inverno, e a temperatura média exterior, no verão. Como também saber a exposição à radiação solar, o regime de ventos, a humidade, a circulação do ar e a vegetação.

O desempenho térmico dos edifícios é determinante para garantir a redução do consumo de energia, sendo dependente do comportamento passivo do edifício face às alterações climáticas e da capacidade de garantir o conforto térmico interior [8].

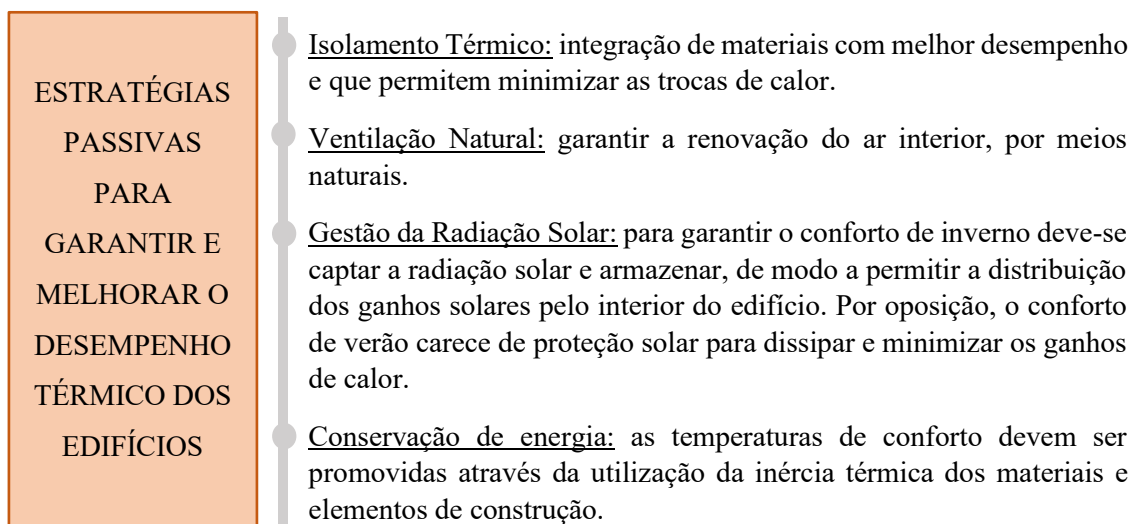


Fig. 14 - Medidas Passivas, adaptado de [8]

A redução das necessidades de energia para climatização dos edifícios, isto é, para aquecimento e arrefecimento é melhorada com o planeamento adequado da conceção global do edifício. Na implementação é fundamental garantir a exposição solar no inverno (preferindo a orientação a sul), a proteção do excesso de radiação solar no verão e a proteção contra o vento (agrupamento de edifícios, escalonamento de fachadas, construção de barreiras, alternância de alinhamentos, entre outros). Na estação de aquecimento, a proteção dos edifícios contra o vento é benéfica, uma vez que permite reduzir as infiltrações de ar e as perdas de calor para o exterior. No verão, a exposição ao vento deve ser promovida, no sentido de contribuir para um arrefecimento do interior do edifício por ventilação natural. A forma do edifício deve ser a mais compacta possível para minimizar as trocas térmicas com o exterior. Para além das medidas mencionadas, prever uma adequada organização interna dos espaços contribui para uma redução do consumo de energia e, consequente conforto térmico [8].

Na estação de aquecimento, a necessidade de consumir energia no interior dos edifícios surge quando a temperatura mínima regulamentar de conforto de 18 °C não é conseguida, ou seja, a temperatura do exterior é inferior à temperatura interior e, por isso, a radiação solar que incide nos vãos envidraçados não é suficiente para manter a temperatura interior superior à temperatura mínima exigida. No verão, se a temperatura exterior exceder a temperatura máxima de conforto interior de 25 °C, deixa de ser viável a ventilação para garantir o conforto interior dos espaços, sendo necessário consumir mais energia para manter o nível de conforto [8].

As estratégias mencionadas com vista à redução das necessidades de energia, nem sempre são suficientes. Nos dias mais frios e mais quentes do ano o conforto térmico pode não ser garantido apenas com a implementação das estratégias passivas. Deste modo, surge a necessidade de adotar medidas de

segundo nível através da utilização de equipamentos eficientes que respondam aos careceres dos métodos passivos [32].

O processo de extração de matéria-prima, transformação em energia e sua utilização é composto por perdas de energia, conforme esquematizado na Fig. 15.

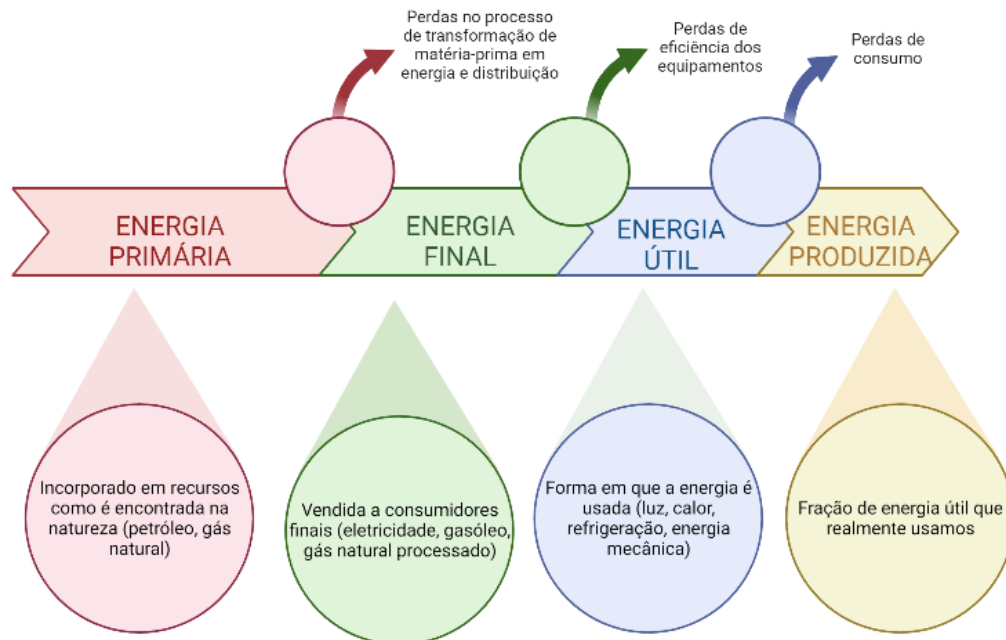


Fig. 15 - Processos de transformação de energia, adaptado de [32]

Para compensar as perdas de energia e complementar as estratégias passivas, pode ser necessário utilizar equipamentos eficientes, com rendimento igual ou superior a 1, que induzem ganhos de energia e compensam as perdas verificadas ao longo do processo.

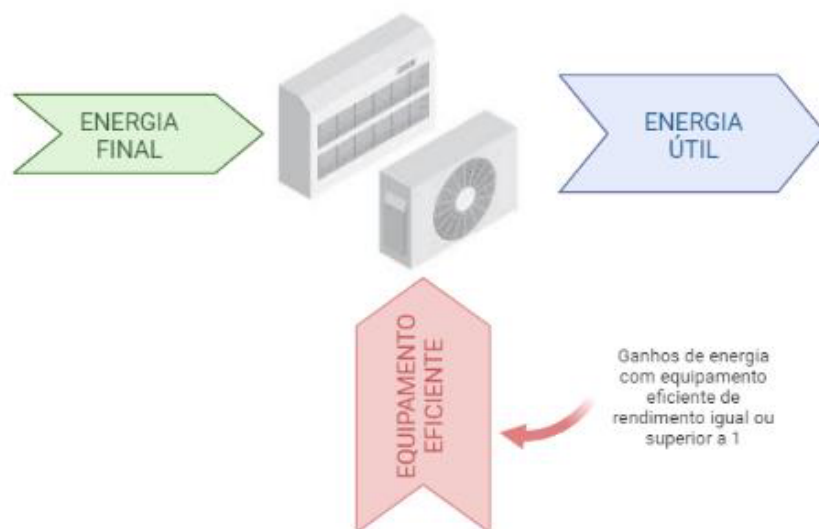


Fig. 16 - Funcionamento de um equipamento eficiente, adaptado de [32]

O esquema da Fig. 16 apresenta o exemplo do contributo de um equipamento eficiente, como por exemplo, um ar condicionado. Neste caso, o objetivo do utilizador consiste em aquecer o ambiente interior e proporcionar conforto térmico. Contudo em situações extremas, a energia final que chega ao dispositivo pode não ser suficiente para fornecer o calor pretendido. Assim, surge a necessidade de instalar um equipamento eficiente, com rendimento igual ou superior a 1, que forneça os ganhos de energia necessários para compensar as perdas de calor e a energia final insuficiente. O conjunto da eficiência do equipamento e a energia final permite fazer face às necessidades do utilizador. É de salientar que quanto maior o rendimento do aparelho, maior é a eficiência energética do mesmo [32].

Se a equipa de projeto tomar medidas para minimizar as necessidades de energia, com o auxílio e a instalação de equipamentos mais eficientes, é possível reduzir o consumo de energia que necessitamos para satisfazer essas necessidades. Bem como reduzir a pegada ecológica dos edifícios e contribuir para a redução dos custos energéticos.

2.3.3. O PAPEL DA INÉRCIA TÉRMICA NOS EDIFÍCIOS

A inércia térmica é diretamente proporcional à capacidade térmica da construção, sobretudo as paredes, ou seja, o aumento da massa das paredes aumenta este parâmetro. Assim, a inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade dos elementos construtivos absorverem as variações da temperatura externa [4]. Desta forma, a inércia útil de pavimento (I_t) é determinada através da seguinte equação [34]:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (1)$$

Sendo:

I_t – Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [kg/m^2];

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m^2];

r_i – Fator de redução da massa superficial útil do elemento i ;

S_i – Área da superfície interior do elemento i [m^2];

A_p – Área interior útil de pavimento [m^2].

A massa superficial útil (M_{si}) depende da condição fronteira, nomeadamente do posicionamento e das características das soluções de isolamento térmico e de revestimento superficial [34]. Os tipos de elementos distinguem-se pelos respetivos limites máximos, previstos na Tabela 1.

Tabela 1 - Regras e valores limite por tipo de elemento [34]

Tipo	Descrição	Limite
EL1	Elementos da envolvente em contacto com o exterior, interior ou sem trocas térmicas	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
EL2	Elementos em contacto com o solo	$M_{si} \leq 150 \text{ kg/m}^2$
EL3	Elementos de compartimentação interior	$M_{si} \leq 300 \text{ kg/m}^2$

O fator de redução da massa superficial útil de um elemento i (r_i) avalia a influência da capacidade de absorção de calor dos materiais de revestimento sendo, por isso, dependente da resistência térmica do material, incluindo a resistência térmica de uma caixa-de-ar que possa existir. Quanto maior a resistência térmica do material de revestimento, maior a obstrução à transmissão térmica e, consequentemente, menor a capacidade de armazenamento e restituição de calor do elemento [34], conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Fator de redução de massa superficial útil [34]

Resistência do revestimento [(m ² .°C) /W]	r_i
$R < 0,14$	1
$0,14 \leq R \leq 0,30$	0,50
$R > 0,30$	0

Os critérios que permitem quantificar a massa superficial útil (M_{si}) e o fator de redução da massa superficial útil de um elemento i (r_i) são definidos no REH [4].

Para avaliação do desempenho energético dos edifícios (DEE), a inércia térmica do edifício ou fração é e classificada segundo 3 classes, conforme a Tabela 3, de acordo com a massa superficial útil por superfície de área de pavimento [34].

Tabela 3 - Classes de inércia térmica, I_t [34]

Classe de inércia térmica	I_t [kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 < I_t < 400$
Forte	$I_t > 400$

Na estação de aquecimento e arrefecimento, os fatores de utilização dos ganhos térmicos, η_i e η_v , respetivamente, são calculados em função da inércia térmica do edifício e da relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas do edifício. A inércia térmica serve também de base ao cálculo das necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício, N_{ic} e N_{vc} , respetivamente [34].

O conforto do espaço interior surge então afetado pela capacidade dos elementos construtivos amortecerem os pontos máximos e mínimos de temperatura. Assim, para além da necessidade de garantir uma elevada capacidade térmica, conseguida através de construção pesada, também deve ser garantida uma baixa condutividade térmica [4].

Associado ao amortecimento, existe também o efeito de desfasamento temporal que reconhece capacidade aos elementos construtivos para fornecerem calor nos períodos mais frios do dia e absorvem calor nos períodos mais quentes, proporcionando o conforto do espaço interior. Contudo este desfasamento ótimo depende das condições climáticas e geográficas do local onde se localiza o edifício [4].

Face uma situação climática nacional, a necessidade de aquecimento para uma inércia térmica alta é inferior no verão e as necessidades de arrefecimento são reduzidas no verão e podem ser minimizadas

com uma inércia térmica alta. Por este motivo, a inércia térmica traduz benefícios ao nível do consumo energético do edifício. No entanto, este desempenho pode ser alterado por diversos fatores, nomeadamente pela existência de grandes áreas envidraçadas que impelam a necessidade de proteger os elementos no verão, para minimizar o sobreaquecimento. A ventilação benéfica no verão, pode por sua vez provocar efeitos inversos no inverno, como perdas de calor no ambiente interior [4].

2.3.4. PARÂMETROS ENVOLVIDOS NO CÁLCULO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

Sendo a inércia térmica uma propriedade complexa e que contribui para melhorar o desempenho dos edifícios e reduzir as necessidades de consumo de energia, a forma mais adequada de estudar e avaliar essa propriedade é simular o comportamento térmico dos edifícios em regime dinâmico, conforme já mencionado [4].

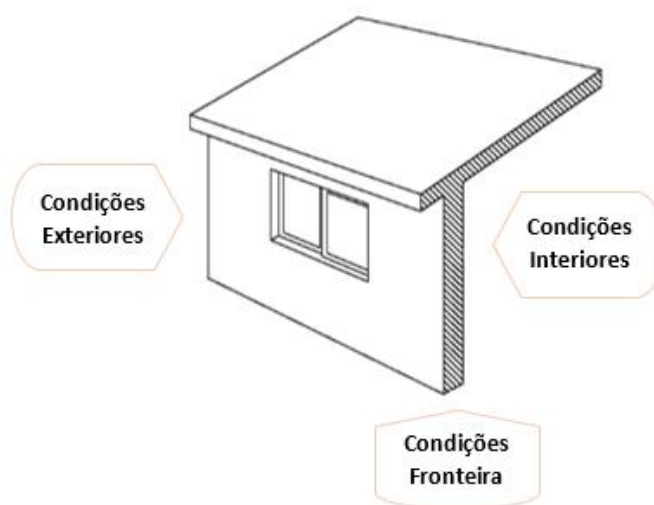


Fig. 17 - Grupo de parâmetros envolvidos num cálculo energético, adaptado de [4]

As análises dinâmicas envolvem diversos parâmetros que variam com as condições climáticas do local, mas também com o tipo de ocupação. Com vista à otimização e simplificação do cálculo, os parâmetros surgem agrupados de acordo com a sua localização nos edifícios [4].

2.3.4.1. Condições exteriores

Para avaliar o DEE deve-se ter em conta toda a envolvente do edifício [34]. As condições exteriores dependem sobretudo das condições climáticas do local onde o edifício se encontra implantado e, por isso, representa um ambiente que não é passível de ser controlado. Os principais parâmetros que integram as condições exteriores são [4]:

- temperatura;
- humidade do ar;
- radiação solar;
- pressão do vento.

Estes valores encontram-se tabelados, sendo a medição feita por estações climáticas e, podem ser organizados conforme as suas condições de cálculo forem anuais, mensais ou horárias. No que diz

respeito à radiação solar, a irradiação incidente num edifício é proveniente de três componentes: direta, difusa e refletida pelo solo. A componente direta diz respeito à radiação que é irradiada diretamente pelo sol, enquanto que a componente difusa refere-se à radiação emanada pela atmosfera [4].

2.3.4.2. Condições interiores

Pretende-se que as condições interiores sejam controladas, de modo a conferir conforto aos ocupantes e a garantir os níveis mínimos da qualidade do ar e, por isso, importa conhecer de que forma estas condições surgem afetadas [4]:

- tipo e intensidade de ocupação;
- ventilação;
- equipamentos de climatização.

Os ganhos resultantes da ocupação do edifício são influenciados essencialmente pela termorregulação do corpo humano. A produção de calor por unidade de área de pele de um indivíduo em descanso corresponde a 58 W/m² ou 1 met, enquanto que para uma pessoa em esforço a atividade metabólica corresponde a 5 met. A ocupação do edifício tem ainda em conta os ganhos resultantes da iluminação e do funcionamento dos equipamentos [4].

A ventilação corresponde à parcela de ar exterior que se introduz no edifício, podendo ser de dois tipos: natural ou mecânica. A ventilação natural corresponde à entrada e renovação de ar por elementos que constituem o edifício, como portas, janelas, grelhas e deve-se às diferenças de pressão existentes entre os espaços. Na ventilação mecânica a renovação de ar é forçada e conseguida através de ventiladores de introdução ou extração de ar [4].

As perdas por trocas de ar com o exterior constituem 20 a 50% da carga térmica do edifício e, por isso, devem ser controladas de modo a minimizar as perdas de calor na estação de aquecimento e os ganhos na estação de arrefecimento, sem comprometer a qualidade do ar [4].

A necessidade de incorporar equipamentos de aquecimento, arrefecimento ou AVAC resulta do facto de, em situações extremas de temperatura, o edifício por si só não ser capaz de garantir as condições de conforto requeridas [4]. Contudo o funcionamento destes sistemas não será aprofundado, pois sai fora do âmbito desta dissertação [4].

2.3.4.3. Elementos da envolvente

A envolvente de um edifício corresponde à separação física dos espaços exterior e interior. Para garantir os níveis de conforto exigidos no ambiente interior para além da influência da atividade metabólica e dos elementos que integram o espaço, importa também conhecer quais as propriedades da envolvente que influenciam esses critérios [4]:

- infiltrações e exfiltrações;
- elementos opacos;
- elementos envidraçados.

As infiltrações e exfiltrações são fugas de ar não intencionais e ocorrem devido à existência de frinchas ou aberturas em elementos como portas e janelas. As infiltrações correspondem a fugas de ar do exterior para o interior, sendo inverso o movimento nas exfiltrações, isto é, do ambiente interior para o exterior. Sendo este um movimento de ar inevitável, surge a necessidade de compensar estas fugas com a inclusão

de grelhas de ventilação nas fachadas ou de elementos mecânicos, que garantem a renovação e a qualidade do ar interior [4].

Os elementos da envolvente são divididos em opacos e envidraçados, sendo que os primeiros incluem paredes, pavimentos e cobertura, enquanto que os elementos envidraçados correspondem aos vãos existentes, como portas, janelas e claraboias [4].

Importa conhecer as características destes elementos para calcular a resistência oferecida pelos materiais à transmissão de calor entre os espaços. Assim, os ganhos térmicos por radiação dependem das características das superfícies, sendo nula a componente transmitida por elementos opacos. A presença de dispositivos de sombreamento, reduz a radiação incidente pelos vãos envidraçados e, consequentemente, os ganhos de calor. Para calcular e avaliar os fluxos de calor a melhor forma surge pela modelação do edifício com recurso a programas de simulação dinâmica [4].

2.3.5. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS

O desempenho energético de um edifício depende da energia primária total que este necessita consumir para garantir as condições mínimas de conforto e habitabilidade. Assim, um edifício eficiente em termos energéticos dispõe de um reduzido consumo de energia primária [8].

Com o apoio do esquema da Fig. 15 é fácil perceber que as perdas que decorrem da produção e distribuição da energia induzem a necessidade de consumir uma energia primária superior para produzir a energia final requerida. A integração de princípios de racionalização de energia nos novos edifícios e nos edifícios sujeitos a reabilitação podem conduzir a poupanças de 30% no consumo de energia, mantendo as mesmas condições de conforto, o que se revela vantajoso do ponto de vista da eficiência energética [10].

Na teoria, o desempenho energético dos edifícios pode ser melhorado com a incorporação de sistemas de energia proveniente de fontes renováveis, contudo o investimento em energias renováveis não se revela viável se o edifício de base não apresentar um comportamento térmico razoável [8]. Para além da eficiência dos equipamentos, o comportamento diário das pessoas e a forma como estas utilizam os equipamentos é fundamental para a promoção da racionalização da energia.

O cálculo do desempenho energético apenas considera a energia consumida para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS de um edifício em utilização, sendo dispensável a energia consumida nas fases de construção e/ou demolição do edifício [8].

A majoração do desempenho energético de um edifício é obtida pela sua eficiência térmica, pela eficiência energética dos equipamentos e pela utilização de energias renováveis complementares, conforme se conclui pelas prioridades de atuação na fase de projeto, expostas na Fig. 13.

Sendo este um tema atual e de crescente preocupação em projeto de edifícios, a Diretiva 2018/2002 vem alterar a anteriormente publicada a 14 de novembro de 2012, a Diretiva 2012/27/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, com atualizações referentes à eficiência energética. Esta diretiva reúne um conjunto de medidas para promover a eficiência energética, com o objetivo de cumprir a meta, exposta pela União Europeia, de 32,5% em matéria de eficiência energética até 2030 e o desenvolvimento de melhorias após essa data. Para além disso, a atual diretiva Europeia de Desempenho Energético dos edifícios (EPBD) estabelece regras para eliminar e ultrapassar os obstáculos no mercado da energia que impedem o uso eficiente da energia, bem como o cumprimento dos objetivos da Agenda 2030 [35].

2.3.6. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS, EM PORTUGAL

Em contexto nacional, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, reúne os requisitos a ter em conta nos projetos de conceção e renovação de edifícios, com vista à melhoria do respetivo desempenho energético, mantendo-se coerente com as políticas referidas na atual diretiva (EPBD) [36].

O decreto-lei referido é também responsável por regular o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). O objetivo prende-se sobretudo em dar resposta a problemas práticos que surgem do desenvolvimento de um parque edificado moderno, formado por edifícios com níveis de conforto elevados e integrados ao contexto local e climático onde estão implantados, que dispõem de fontes de energias renováveis e com necessidades de consumo de energia minoradas [36].

A marca da Certificação Energética dos Edifícios, “Certificar é Valorizar” é gerida pela ADENE – Agência Nacional de Energia –, que qualifica técnicos especializados para avaliar o desempenho energético dos edifícios e emitirem o respetivo certificado [37]. A ADENE tem como missão promover o uso sustentável da energia e da água, contribuindo para a sustentabilidade da sociedade. Por isso, mobiliza os cidadãos e empresas para uma transição energética, tendo em vista uma economia sustentável e de baixo carbono [38].

A obrigatoriedade do certificado energético tem como objetivo apoiar os cidadãos e informá-los sobre o desempenho térmico dos edifícios, seja num ato de compra ou arrendamento, permitindo aos utilizadores serem detentores de informação necessária para auxiliar a sua escolha e prever os futuros consumos de energia [30].

Nos edifícios existentes o certificado energético apresenta medidas de melhoria do desempenho térmico e da qualidade do ar interior, economicamente viável, que o utilizador pode adotar para melhorar a eficiência energética do edifício e reduzir os custos das despesas energéticas. No âmbito dos edifícios novos, o certificado energético surge como um comprovativo da correta aplicação do regulamento da térmica e da qualidade do ar interior para os edifícios, sendo obrigatória a instalação de sistemas provenientes de fontes de energia renováveis [30].

O certificado energético é um documento que avalia o desempenho de um imóvel, numa escala de F (muito pouco eficiente) a A+ (muito eficiente) e, contém informações sobre as características do edifício, indica medidas para melhorar o bem-estar e o conforto, permite o acesso a benefícios fiscais, se disponíveis, e atribui valor ao imóvel, crescente com a classe energética. Sendo este documento único para cada edifício, é possível caracterizar os elementos de climatização, ventilação, produção de águas quentes sanitárias e elementos construtivos e avaliar o seu efeito no consumo de energia [38].



Fig. 18 - Classes de certificação energética [38]

2.4. NOTAS FINAIS

O Planeta Terra evidencia sintomas graves dos impactes ambientais a que tem sido sujeito. Tendo em conta a finitude da sua capacidade de resposta perante os ataques a que tem sido submetido é urgente a

tomada de decisões sérias e conscientes, a nível global. Face a sua maior aptidão e disponibilidade, cabe aos países mais desenvolvidos a adoção de comportamentos disciplinados para uma perspetiva mais sustentável e eficiente [9].

A necessidade de avaliar o desempenho ambiental dos edifícios desencadeou ao longo dos anos o desenvolvimento de sistemas de avaliação da sustentabilidade, que visam a otimização dos edifícios na conquista e seriedade dos objetivos da sustentabilidade. Para além disso, surge um movimento no subsector dos edifícios para promoção de uma construção ecológica que dê resposta a objetivos de desenvolvimento sustentável propostos pela ONU.

A grande maioria dos impactes ambientais observados, nomeadamente, as emissões de gases com efeito de estufa das quais resulta o aquecimento global, decorrem do elevado consumo de energia verificado mundialmente. Num contexto nacional, para além das consequências ambientais são de realçar as repercussões económicas advindas da baixa capacidade de produção de energia do país face ao consumo verificado nos diferentes setores [9].

Conforme demonstrado no presente capítulo, o setor da construção serve a população e evidencia um forte potencial para minimizar os seus impactes ambientais, atuando ao nível da redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito de estufa [9]. Assim, surge a necessidade de intervenção da equipa de projeto dos edifícios para contribuir com a introdução de medidas e alternativas que visem a minimização do consumo de energia e promovam a eficiência energética dos edifícios.

3

SIMULAÇÃO DINÂMICA DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS

3.1. INTRODUÇÃO

Sendo o objetivo principal deste trabalho a comparação do consumo energético de soluções de projeto de um edifício, suportada numa simulação dinâmica, é importante enquadrar e caracterizar um pouco os programas computacionais de simulação e analisar as diferenças entre alguns dos *softwares* mais atuais do mercado. Assim sendo, neste capítulo começa-se por contextualizar o surgimento e desenvolvimento das ferramentas de simulação energética de edifícios.

Posteriormente faz-se uma breve exposição das metodologias de cálculo mencionadas na normalização internacional, que permitem determinar as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento de um edifício, bem como a adaptação das mesmas ao contexto dos regulamentos da construção portuguesa, para fins profissionais, como a emissão de certificados energéticos.

Adiante, apresenta-se alguns dos *softwares* existentes, desde o *EnergyPlus*, aos programas mais recentes na indústria como o *SketchUp* e *Cove.tool*, com destaque para o *DesignBuilder*, que serve de base à simulação do presente trabalho.

3.2. METODOLOGIAS DE SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS

Desde a década de 60 que se tem vindo a verificar o crescimento das ferramentas computacionais que permitem estudar o comportamento térmico e energético dos edifícios. A permanência em tempo alargado nos abrigos nucleares dos EUA, criados para a proteção das pessoas face as ameaças de ataques nucleares da Guerra Fria, induziu a necessidade de garantir as condições mínimas de conforto térmico. Desde então, desenvolveram-se as primeiras ferramentas de simulação do consumo energético dos edifícios, com o intuito de incutir aos arquitetos a informação, mesmo que preliminar, sobre a eficiência dos edifícios. A partir da década de 90 os programas de simulação de edifícios passam a ganhar tanta importância quanto a aprendizagem dos programas AutoCAD [39].

Apesar de reconhecida a importância, sob o ponto de vista social, ambiental e económico, os custos de utilização e manutenção dos edifícios são pouco explorados pelos projetistas na fase de projeto. A integração de análises e simulações logo na fase inicial de projeto, permite antever decisões importantes a considerar, bem como o impacto das mesmas no desempenho e estimar os custos associados [39]. Para além disso, no setor é habitual algum desfasamento de prioridades entre arquitetos e engenheiros, bem como o dilema dos arquitetos em compreender algumas abordagens dos *softwares*. Portanto, a simulação deve-se adaptar à linguagem e necessidade de cada utilizador. Sendo visual a perspetiva dos arquitetos,

surge nos engenheiros o potencial de acompanhar e avaliar as ideias de conceção sob um ponto de vista sobretudo matemático e analítico. A abordagem deste trabalho visa cumprir o objetivo comum de melhorar a cooperação entre os intervenientes da construção, desde os projetistas aos construtores que integram a fase de execução [40].

Segundo o RSECE, nos projetos de climatização e renovação de ar interior de edifícios novos surge a obrigatoriedade de se complementar o projeto com a simulação dinâmica do edifício, bem como para a obtenção da certificação energética de um grande edifício. A simulação dinâmica é apoiada por modelos computacionais que permitem simular e avaliar as condições energéticas dos edifícios. A principal vantagem da simulação dinâmica de edifícios reflete-se sobretudo ao nível das melhorias passivas, uma vez que estes programas permitem simplificar a complexidade do cálculo envolvido [41]. Nos edifícios novos, a simulação permite prever, na fase de projeto, os consumos de energia que o edifício irá apresentar em serviço. No que diz respeito a edifícios existentes, a simulação possibilita a implementação de medidas de melhoria com vista a alcançar poupanças energéticas e económicas. Para determinar o consumo energético de um edifício é necessário conhecer a localização, os sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação, os equipamentos que integram os diferentes espaços e o tipo de ocupação [42].

A Norma ASHRAE 209-2018 – *Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings* – define os requisitos mínimos de apoio ao projeto de simulação e análise da energia de construção. O cumprimento da Norma obriga a que a avaliação das opções de eficiência energética seja simulada com recurso a modelação no início do processo de projeto, de modo a obter informações mais detalhadas que resultem em edifícios com melhor desempenho energético. A estrutura é composta por onze ciclos de modelação cada um deles com objetivos específicos coordenados com as fases do ciclo de vida do projeto [43], [44]. A motivação da Norma surge na tentativa de encontrar uma justa relação entre o custo de simulação e o valor atribuído ao projeto [45]. De acordo com a abordagem apresentada na Fig. 19 quanto mais cedo se proceder à simulação das opções de projeto menor será o investimento envolvido e maior será o benefício transferido para o projeto.

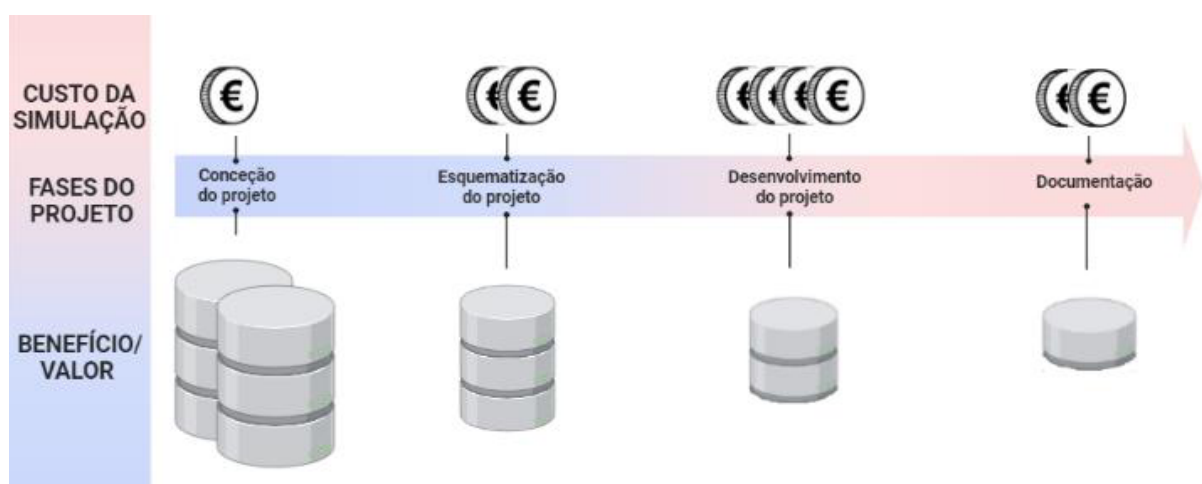


Fig. 19 - Custo VS Benefício da simulação de edifícios, adaptado de [45]

3.2.1. METODOLOGIAS DE CÁLCULO

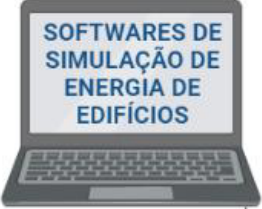
A crescente valorização e utilização dos programas de simulação do comportamento dos edifícios, despertou um movimento por parte das organizações internacionais com vista à normalização técnica de simulação de edifícios, por via computacional. Em consequência, surge a formulação da ISO 13790: 2008 (*Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling*) uma das Normas internacionais, que fornece os métodos de cálculo para avaliar a contribuição dos produtos e serviços da construção na conservação de energia e desempenho energético de edifícios novos ou existentes [46]. Existem três opções para o cálculo das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento de um edifício [47]:

- método mensal ou sazonal, cujo intervalo de cálculo é de um mês ou executado com base nas estação de aquecimento e arrefecimento;
- método horário simples, que usa programações horárias como ajustes de temperatura, modos de ventilação ou programação dos elementos de proteção solar móveis;
- método de simulação dinâmica detalhado, que reúne os procedimentos para garantir a compatibilidade e consistência entre a aplicação e os resultados dos diferentes tipos de métodos.

Esta Norma fornece as regras comuns para os dados físicos de entrada, independentemente do método de cálculo escolhido. A adequação da Norma para o contexto dos regulamentos da construção nacionais permite a classificação de desempenho energético de um edifício, com base em condições padrão, para um certificado de desempenho energético [47]. Conforme mencionado no capítulo anterior, em contexto nacional, a entrada em vigor do SCE, que exige o cálculo dos consumos de energia de edifícios residenciais e de serviços, veio incentivar as devidas adaptações à realidade portuguesa dos programas de simulação já existentes [42].

3.2.2. SOFTWARES DISPONÍVEIS

A necessidade de avaliar e comparar a capacidade dos *softwares* computacionais com potencial para determinar o desempenho energético dos edifícios, desencadeou a formulação da Norma ASHRAE 140. O conjunto atual de testes compreende duas abordagens possíveis: testes de comparação do desempenho de um *software* face a uma versão mais antiga do mesmo, ou em relação a outros e testes de verificação analítica, nos quais os resultados são comparados com soluções de modelos numéricos analíticos ou verificados [48]. Assim, segundo o RSECE as simulações dinâmicas detalhadas de edifícios realizadas ao abrigo do SCE devem ser efetuadas com recurso a programas devidamente acreditados segundo a Norma ASHRAE 140 [42]. De entre os programas existentes no mercado destacam-se os seguintes: *EnergyPlus*, *SketchUp*, *Cove.tool* e *DesignBuilder*.



EnergyPlus	SketchUp	Cove.tool	DesignBuilder
			
Exige um nível de conhecimento elevado	Análise em fase inicial do projeto	Análise em fase inicial e avançada do projeto	Mais Completo
Gratuito	1 000,00 \$/ano	5 000,00 \$/ano	5 000,00 \$/ano

Fig. 20 - Softwares de simulação de energia de edifícios

3.2.2.1. EnergyPLUS

O *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos e distingue-se como sendo uma ferramenta gratuita e completa de simulação energética de edifícios, que engenheiros, arquitetos e investigadores utilizam para modelar o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação e outros fluxos de energia [49]. A substituição e progressivo abandono de outros *softwares* já existentes, resulta do facto de o *EnergyPlus* dar resposta a problemas como a dificuldade em alterar os dados de entrada e de acompanhar o desenvolvimento das tecnologias dos sistemas AVAC. Para além disso, o programa permite determinar em simultâneo as cargas térmicas e os sistemas de climatização e equipamentos utilizados, o que proporciona resultados iniciais de dimensionamento mais rigorosos [39], [50]. Conforme referido, o *EnergyPlus* destaca-se pelo rigor na modelação da geometria do edifício, sistemas de AVAC e pela capacidade de integrar módulos que facilitem os estudos de otimização da eficiência energética do edifício. É de realçar a complexidade da tarefa de introduzir novos módulos, o que exige um certo grau de conhecimento por parte dos utilizadores [51].

Fig. 21 - Módulos do *EnergyPlus* [50]

O *EnergyPlus* está otimizado para ser utilizado com um algoritmo de cálculo que pode ser incorporado noutros softwares de interface gráfica [39]. Assim sendo, os “*Inputs*” dizem respeito ao edifício e respetivos dados climáticos, sendo que após a simulação, o programa reproduz até 23 arquivos de saída, designados de “*Outputs*” [51]. Na presente dissertação recorreu-se ao *DesignBuilder* para representar o edifício nas três dimensões do espaço, bem como introduzir os dados de entrada e visualizar os dados de saída.

3.2.2.2. SketchUp

O *SketchUp* é uma plataforma de modelação de edifícios que recorre à análise proporcionada pelo software *Sefaira* para avaliar o desempenho energético que resulta da simulação do edifício. A análise da *Sefaira* é proporcionada numa fase inicial do projeto para melhorar o desempenho do edifício, sendo ágil o suficiente para acompanhar o ritmo das fases de conceção e esquematização do projeto. O programa permite executar simulações anuais completas alimentadas por mecanismos de análise devidamente credenciadas pelo setor e obter resultados imediatos. Com estas ferramentas é possível comparar opções e selecionar as melhores estratégias, bem como estudar os sistemas de ventilação natural e AVAC que incorporam o projeto em análise. Para além disso, serve como uma ferramenta de marketing, na qual é possível usufruir de visões atraentes para promover e convencer potenciais clientes do mérito das propostas e dos benefícios de desempenho das soluções de projeto. O padrão ASHRAE deve servir de referência para garantir o cumprimento das metas de energia, luz do dia e conforto [52].

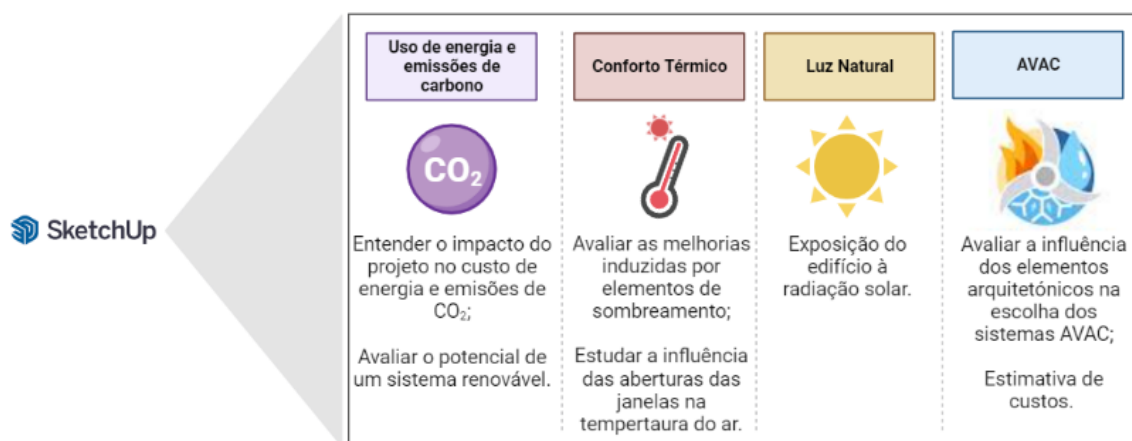


Fig. 22 - Parâmetros do SketchUp [52]

3.2.2.3. Cove.tool

O *Cove.tool* integra a primeira rede de ferramentas em nuvem, que permite a relação e conectividade entre as equipas de projeto e pré-construção. Surge na tentativa de reduzir os riscos, aumentando a transparência e maximizando a produtividade das equipas. A ferramenta visa quebrar barreiras no processo de projeto e construção, criando uma rede de informações compartilhadas e a interoperabilidade entre projetos e equipas para atender às necessidades de cada função, melhorando o projeto e o processo como um todo [53].



Fig. 23 - Áreas de estudo do Cove.tool [53]

Sendo uma ferramenta que auxilia a análise da fase inicial de projeto, permite identificar opções de conceção com menor custo e maior desempenho. Em suma, tem como objetivo automatizar o processo, com vista à economia de tempo e investimento, ambicionando melhores soluções, clientes mais satisfeitos e maiores lucros [53].

3.2.2.4. DesignBuilder

O *DesignBuilder* é um *software* de modelação que surge combinado com as capacidades de simulação do *EnergyPlus*. Sendo bastante simples de utilizar, permite aos utilizadores menos experientes a facilidade de modelar até os edifícios mais complexos [39]. A modelação no *DesignBuilder* surge na

tentativa de equilibrar critérios diferentes para fornecer edifícios confortáveis e mais eficientes, que cumpram os regulamentos em vigor do setor da construção, minimizem os custos iniciais para o cliente, otimizem os custos de energia e reduzam o impacto ambiental [54]. Em Portugal, a *NaturalWorks* é a representante legal do *software DesignBuilder* sendo, por isso, responsável pela atribuição de licenças aos utilizadores que pretendam adquirir a ferramenta computacional [55].

A solução completamente modular que resulta do *DesignBuilder* compreende um modelador 3D central e outros dez módulos que trabalham em conjunto para fornecer uma análise aprofundada para qualquer edifício [54]. De acordo com a Fig. 24, o programa fornece uma variedade de dados de desempenho ambiental, nomeadamente: consumo de energia, emissões de carbono, condições de conforto, iluminação natural, temperaturas máximas e componentes AVAC [56].

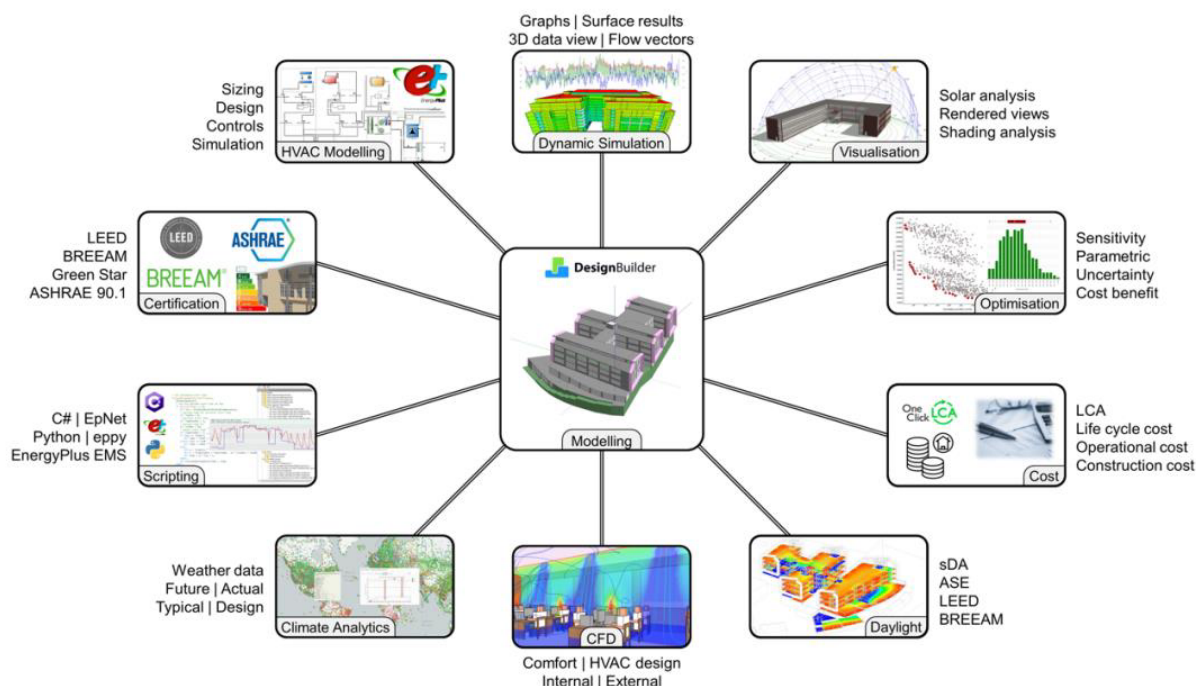


Fig. 24 - Módulos do *DesignBuilder* [55]

De entre as diferentes funcionalidades do *software*, evidenciam-se as seguintes potencialidades [39], [56]:

- Modelação da geometria do edifício relativamente simples, com potencial para importação de ficheiros em formato *.dxf*;
- Facilidade em introduzir as características dos elementos construtivos do edifício ou possível adoção das características de referência;
- Diferentes níveis de detalhe, consoante a pormenorização dos dados de informação do edifício;
- Disponibilidade de perfis de funcionamento adaptados à legislação portuguesa e, possível, edição dos mesmos;
- Cálculo do impacto das diferentes opções de projeto no consumo de energia do edifício;
- Previsão do desempenho da luz natural;
- Projeto e simulação dos sistemas AVAC;
- Visualização gráfica dos resultados de simulação e possível exportação dos mesmos;
- Análise do ciclo de vida e análise económica dos custos de construção;

- A visualização do modelo 3D auxilia a comunicação em reuniões de projeto.

O *software* é devidamente acreditado pela Norma ASHRAE 140, sendo a tradução para a legislação portuguesa devidamente adaptada pelo revendedor do *software*, através do desenvolvimento de um módulo no qual é possível calcular diversos parâmetros, tais como: fatores de forma e fatores de correção climática de inverno e de verão, indicador de eficiência energética, IEEpr e IEEref, classe energética, consumos energéticos para emissão do documento de certificação energética e ficheiros climáticos [39].

3.3. NOTAS FINAIS

Nos dias de hoje, o mercado computacional reúne uma variedade de *softwares* de simulação de edifícios, desde ferramentas mais intuitivas a programas de modelação mais complexos. Dependendo do grau de exigência e conhecimento das soluções de projeto é possível avaliar o desempenho energético do edifício e estimar os consumos a longo prazo. Apesar de esta informação ser sempre valiosa, surge na fase do programa base de arquitetura um reconhecimento de potencial superior, na medida em que constitui o momento no qual todas as soluções possíveis devem ser estudadas, comparadas e ponderadas para se obter a máxima eficiência do edifício. A simulação do edifício numa fase prematura do projeto revela-se crucial para observar o desempenho de variáveis de dimensão macro, como a orientação, a envolvente e as proteções solares, tendo em conta a simplificação do projeto até então. Sendo uma fase a montante do processo, na qual nenhuma decisão é ainda definitiva, as alterações a induzir no projeto são menos dispendiosas e mais fáceis de introduzir sem grandes inconvenientes, aportando valor ao projeto.

O avanço da tecnologia e das exigências profissionais mobilizam sucessivos progressos nas ferramentas de simulação de edifícios e, por isso, as versões e atualizações de *softwares* estão em constante evolução. A multiplicidade de dados de entrada a fornecer aos programas permite uma simulação mais completa, que resulta em informações mais detalhadas nos diversos campos de estudo.

Apesar da simulação de edifícios novos ser mais frequente, também nos edifícios existentes esta avaliação é fundamental, visto que auxilia a análise de pré-existências, permitindo averiguar possíveis inconvenientes no uso do edifício e promover medidas de melhoria, com vista a maximizar o desempenho energético do edifício.

Numa perspetiva mais comercial, as empresas ao realizarem a simulação e modelação dos seus projetos obtêm informação visual do edifício, o que constitui uma fonte adicional de comunicação entre projetistas, construtores e promotores. Além disso, a visualização tridimensional do projeto pode ser usada como uma estratégia de marketing para promover e exibir os projetos desenvolvidos pelas empresas.

4

CASO DE ESTUDO

4.1. INTRODUÇÃO

O caso de estudo presente visa analisar, com recurso a simulação dinâmica no *software DesignBuilder*, as melhores opções na fase inicial de projeto com vista à minimização das necessidades de aquecimento e arrefecimento. Conforme já justificado, a fase de projeto tem elevado potencial para ponderação e avaliação das soluções mais favoráveis em termos de consumo de energia e de impacto ambiental. Esta análise foca-se nos parâmetros de dimensão macro, como a influência da orientação, as características da envolvente opaca e envidraçada, o fator de forma, a inércia térmica e a cor do exterior. Assim torna-se possível analisar e antever as melhores soluções de projeto. Para além do compromisso de reduzir a pegada de carbono e mitigar as alterações climáticas, pretende-se que os dados recolhidos neste estudo constituam um guia para projetos futuros, auxiliando a tomada de decisões, que possam poupar tempo de trabalho e custos de investimento e, em simultâneo, ajudar os arquitetos na melhoria das práticas de conceção de edifícios.

Este capítulo integra três tópicos. O primeiro diz respeito à apresentação do edifício de referência, que consiste num modelo teórico da moradia em estudo e que serve de base de comparação aos cenários simulados para a obtenção dos melhores resultados energéticos. O segundo tema visa explicar o procedimento de parametrização e modelação no *DesignBuilder*, com detalhe para o enquadramento climático do edifício e respetiva implantação. O tema inclui a descrição das propriedades dos elementos construtivos, fundamentada com o regulamento da térmica. O último tópico do capítulo consiste em explicar cada parâmetro, de modo a justificar a sua importância para o estudo inicial de simulação, bem como descrever o procedimento de análise efetuado no *DesignBuilder*.

4.2. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O projeto do caso de estudo prevê a construção de um Aldeamento Turístico designado por SAND CLIFF, situado entre a margem norte da Estrada Municipal EM531 (Estrada da Praia da Rocha-Alvor) e a Urbanização Alto Golfe, em Amoreira, na freguesia de Alvor e concelho de Portimão.

O empreendimento, representado na Fig. 25, é composto por 84 unidades de alojamento, das quais 52 unidades serão de tipologia V2 (moradia tipo A) e 32 unidades serão de tipologia V3 (moradia tipo B), ambas compostas por rés-do-chão e 1º andar. Este projeto contará ainda com dois edifícios de apoio ao aldeamento. Um edifício A, junto à entrada principal, onde se localiza a receção e o lobby, bem como uma cafetaria, um ginásio, um pequeno espaço comercial de uso exclusivo dos utilizadores, instalações sanitárias, arrecadação e áreas técnicas. Por último, um edifício B onde se localizarão os balneários, vestiários, instalações sanitárias destinadas aos funcionários e lavandaria de apoio ao aldeamento.

Para a presente dissertação, tomou-se como referência uma moradia de tipologia V2, a menos de 5 km da costa. A fração é constituída por dois pisos, conforme a Fig. 26, sendo o rés-do-chão composto por sala comum e cozinha, instalação sanitária, hall e arrumo. O piso 1 integra a zona de dormir, constituída por duas suites e zona de circulação. Deste modo, a configuração da moradia está preparada para alojar até quatro pessoas. No Anexo 1 encontram-se os desenhos da moradia com uma representação mais detalhada do edifício, nomeadamente, as plantas dos pisos e da cobertura, alçados e cortes.



Fig. 25 - Planta do aldeamento

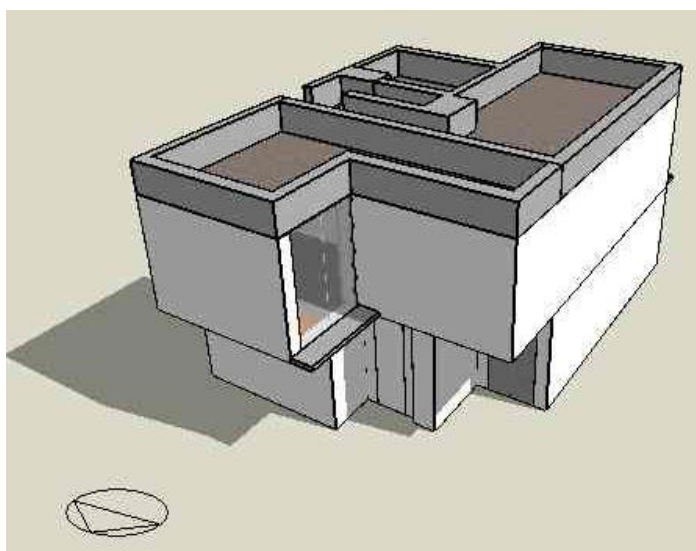


Fig. 26 - Edifício de Referência modelado no *DesignBuilder*

4.3. PARAMETRIZAÇÃO E MODELAÇÃO COM O DESIGNBUILDER

O local onde o edifício em estudo está implantado condiciona o seu comportamento térmico, ou seja, as variações de temperatura existentes entre edifícios situados mais a norte ou a sul do país, ou até nos arquipélagos da Madeira e Açores, definem desempenhos térmicos díspares. A orientação solar a que o edifício está exposto também é um dos fatores preponderantes no comportamento térmico do edifício, uma vez que a incidência da radiação solar no edifício tem influência nos ganhos solares [42]. A caracterização das condições ambientais exteriores a que o edificado está exposto é efetuada através da importação de uma base de dados climáticos relativa à localização do edifício. Sendo que nela se reúne um conjunto de parâmetros, que permitem caracterizar, em cada hora do ano, o clima do local em questão, entre os quais se destacam [34]:

- nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos (NUTS), em função do concelho onde o edifício se localiza;
- altitude, latitude e longitude a que o edifício se localiza;
- zonas climáticas de inverno e verão, que servem para verificar o cumprimento de requisitos de qualidade térmica da envolvente e, no caso dos edifícios de habitação, dos indicadores de conforto térmico.

À semelhança do que acontece na caracterização das condições exteriores, também as condições interiores devem ser introduzidas no *software*, de acordo com os limites de temperatura que constam nas condições a respeitar para o cálculo do indicador de eficiência energético. No que diz respeito às condições fronteiras estas são estabelecidas pela quantificação das trocas térmicas entre os espaços interiores úteis e os restantes ambientes com os quais estes podem contactar [34].

Num edifício dotado de espaços com comportamento térmico e utilização muito semelhantes, a simulação desagregada de todos os espaços não tem vantagem, na medida em que a informação é exageradamente detalhada e de difícil análise. Assim sendo, a similaridade de espaços em termos de perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, ventilação, sistemas de climatização e condições de exposição, permite a criação de uma única zona térmica, o que facilita a simulação dinâmica. O processo de zonamento deve ser feito com especial cuidado, para não se correr o risco de agrupar espaços com condições térmicas diferentes e condicionar os resultados de simulação [34], [42].

A modelação da arquitetura do edifício corresponde à caracterização e localização dos elementos que o constituem. O modelo geométrico pode ser construído tendo como base a planta do edifício com importação de um ficheiro em formato *.dxf* (do *software* AutoCAD), a partir de um modelo tridimensional previamente trabalhado com recurso a uma ferramenta BIM (como, por exemplo, o REVIT) ou pela introdução automática das dimensões e volumetria do edifício. Por outras palavras, a modelação corresponde ao processo de introdução no programa da representação adequada da arquitetura do edifício, orientação geodésica, localização relativa e características geométricas dos elementos construtivos. Deste modo, a fiabilidade e precisão dos resultados de simulação estão diretamente dependentes da qualidade do modelo tridimensional [42].

Após a modelação do edifício segue-se a caracterização dos elementos que integram cada solução construtiva. No que diz respeito aos elementos da envolvente opaca, a caracterização surge pela introdução dos materiais de construção e respetivas espessuras, coeficientes de transmissão térmica e propriedades dos materiais. No caso dos elementos envidraçados, a caracterização envolve a especificação dos elementos que complementam o envidraçado, o tipo de vidro, a respetiva espessura e fatores solares. O utilizador pode introduzir manualmente as propriedades de cada material ou usufruir da base de dados disponibilizada pelo programa. A contabilização dos elementos de sombreamento é

efetuada introduzindo as características, localização e dimensão dos obstáculos que possam sombrear os elementos não opacos [34].

Segue-se a definição dos padrões de utilização e funcionamento dos elementos do edifício, que dizem respeito à especificação da variação temporal do funcionamento do edifício ao longo do ano, sendo possível especificar os padrões de consumo face a um período normal de utilização ou sazonal. Os perfis de funcionamento indicam a percentagem máxima a considerar em cada hora. Assim, para cada zona deve-se especificar os padrões de ocupação, iluminação, utilização de equipamentos, ventilação e funcionamento dos sistemas de climatização. Para além disso, é necessário complementar a informação, para cada zona, com os valores máximos e mínimos da temperatura e humidade relativa do ar interior, designados de *setpoints*, que os sistemas de climatização devem assegurar [42].

Posto isto, o *software* reúne as condições e informações necessárias para processamento dos dados e posterior simulação do comportamento energético do edifício. A vasta gama de resultados permite obter uma informação mais genérica de todo o edifício, ou uma análise mais detalhada de cada zona. Do conjunto de resultados fornecidos pelo *DesignBuilder* destacam-se os consumos de energia primária e final, os ganhos e perdas de calor, os custos anuais e ainda os resultados referentes ao conforto dos ocupantes. A vantagem da análise preliminar dos resultados obtidos após simulação do edifício tem a ver com a possibilidade de introduzir melhorias ao nível dos sistemas construtivos ou substituição e adaptação dos equipamentos, com vista à minimização dos consumos de energia e garantia do conforto térmico dos ocupantes.

4.3.1. ENQUADRAMENTO DO EDIFÍCIO

No *DesignBuilder*, o enquadramento do edifício corresponde à introdução da respetiva localização e dos dados climáticos. Na Tabela 4 apresentam-se os dados que constituem o *template* da localização inserido no programa, de acordo com as informações da folha de cálculo (ver Fig. 27) fornecidas pelo *software* SCE.CLIMA.

Tabela 4 - Dados Climáticos do edifício de referência

País	Portugal
WMO	85540
Zona Climática ASHRAE	3A
Latitude (°)	37,3
Longitude (°)	-8,0
Altitude (m)	30,0
Pressão (kPa)	101,2
Temperatura média exterior (i/v)	12 / 23,1°C
Set-points (i/v)	20 / 25°C
Zona Climática de inverno e verão	I1 / V3

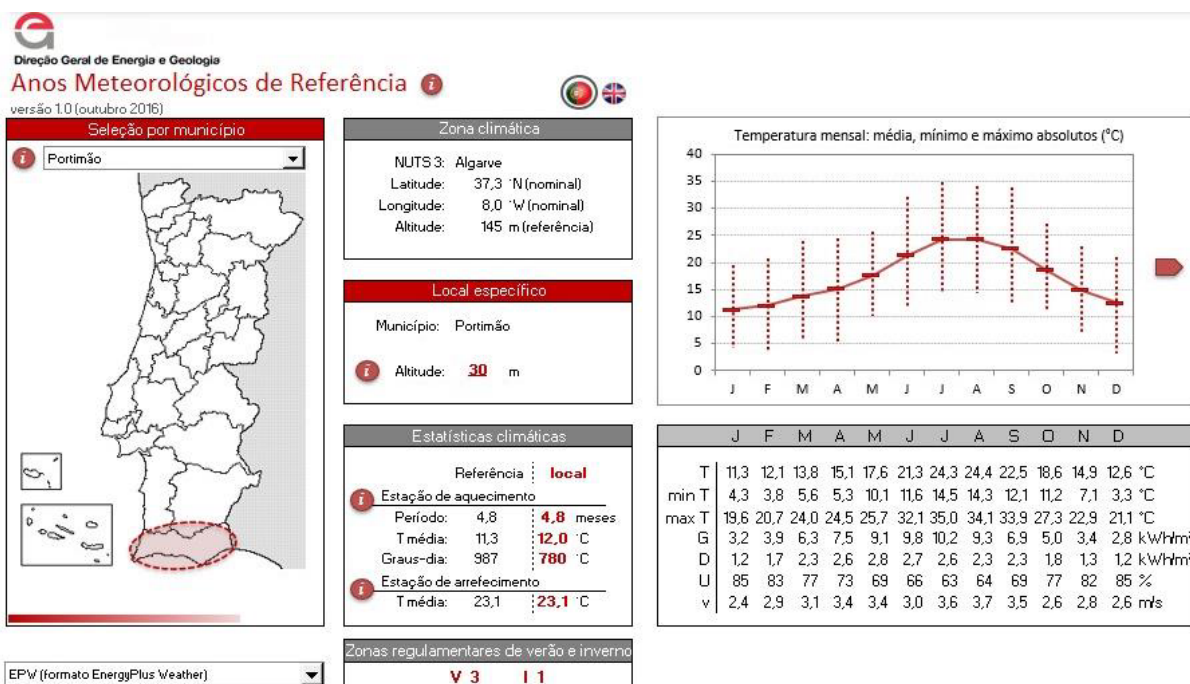


Fig. 27 - Resumo de resultados da análise climática do local de implantação do edifício

4.3.2. PROPRIEDADES DOS ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Após a construção e modelação do edifício no *DesignBuilder*, surge a necessidade de definir os materiais que constituem as soluções construtivas. Tendo em conta que a presente análise visa a simulação de um cenário a montante do desenvolvimento detalhado do projeto, a composição dos elementos construtivos é mais elementar, em correspondência com a abordagem ainda inicial do projeto. Por isso, para a análise preliminar apenas se definiram as soluções construtivas referentes à envolvente opaca e envidraçada do edifício, ou seja, as paredes em contacto com o exterior, a cobertura exterior e os elementos envidraçados. Para os restantes elementos construtivos, como pavimentos e paredes de compartimentos interiores, teve-se como base os *templates* disponibilizados na base de dados do programa, sendo a sua constituição indiferente para este estudo, uma vez que estas soluções não integram a análise de variação de parâmetros e a sua pormenorização é representativa de uma fase mais avançada do projeto.

Com vista à otimização das soluções da envolvente, toma-se como referência os valores máximos que constam no regulamento da térmica, ou seja, admitem-se os coeficientes de transmissão térmica máximos suscetíveis de serem melhorados. Assim, garante-se a possibilidade de minimizar este parâmetro e em simultâneo o cumprimento do limiar regulamentar. Apesar de se tratar de um aldeamento turístico e, por isso, legalmente avaliado conforme um edifício de serviços, os valores regulamentares adotados na análise do caso de estudo dizem respeito a um edifício de habitação, o que se justifica pelo objetivo de obter níveis de conforto igualmente elevados e comparáveis a um edifício habitacional. As camadas que compõem as soluções construtivas do edifício em estudo foram discutidas e acordadas pela equipa de projeto.

Tabela 5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca, $U_{\text{máx}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$] [57]

Portugal Continental			Zona Climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente.	Verticais	Exterior ou interior com $b_{zlu} > 0,7$	0,50	0,40	0,35
		Interior com $b_{zlu} \leq 0,7$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{zlu} > 0,7$	0,40	0,35	0,30
		Interior com $b_{zlu} \leq 0,7$	1,65	1,30	1,20
Zona de PTP	Verticais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{zlu} > 0,7$	1,75	1,60	1,45
		Interior com $b_{zlu} \leq 0,7$	2,00	2,00	1,90
	Horizontais	Exterior	0,90		
		Interior com $b_{zlu} > 0,7$	1,25	1,00	0,90
		Interior com $b_{zlu} \leq 0,7$	1,65	1,30	1,20

De acordo com a Tabela 4 e a Fig. 27, conclui-se que a zona climática de inverno é I1 e, por isso, consultando a Tabela 5, o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo das paredes em contacto com o exterior e das coberturas, não acessível e em terraço, é $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, respetivamente.

Tabela 6 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_{w,\text{máx}}$ [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$] [56]

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação	2,90	2,60	2,40
Edifícios de comércio e serviços	3,30	3,30	3,30

No que diz respeito aos elementos envidraçados, janelas e claraboias, o coeficiente de transmissão térmica superficial máximo é de $2,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, ver Tabela 6.

Os valores convencionais de cálculo de condutibilidades térmicas de materiais e de resistências térmicas superficiais, apresentados no Anexo 5, foram consultados no ITE 50, que se destina a apoiar a realização de estudos no âmbito do desempenho térmico dos edifícios e a aplicação do RCCTE.

4.4. PARÂMETROS E VARIÁVEIS EM ANÁLISE

Para o presente estudo toma-se como referência um edifício modelo, moradia V2, que serve de base a uma primeira análise dos resultados e da qual saem os cenários para variáveis. O modelo teórico é construído segundo a experiência da equipa de projeto e respetiva sensibilidade para nomear o conjunto de parâmetros, de dimensão macro, com potencial impacto na eficiência global do projeto. É de referir que a seleção dos parâmetros também teve em conta as soluções admissíveis em Portugal, bem como as condições mediterrâneas do presente caso de estudo.

Dos parâmetros passíveis de serem estudados, esta investigação concentra-se na observação do desempenho de soluções passivas que se revelam importantes para a discussão na fase inicial do projeto e, por isso, os pressupostos tidos em consideração são:

- Abranger soluções correntes e exequíveis nos projetos nacionais;
- Abranger soluções decisivas na conceção inicial do projeto de arquitetura.

A seleção dos parâmetros listados na Tabela 7 é justificada pelo momento em que se pretende efetuar a simulação. Sendo a fase inicial do projeto o momento apropriado para avaliar o desempenho das decisões de projeto. A promoção da minimização do consumo de energia final, traduz-se na redução da fatura de energia para os ocupantes. Acima de tudo, pretende-se que a análise mais rigorosa dos engenheiros, suportada na capacidade de interpretar resultados de um processo de simulação, ajude e seja compreendida pelos arquitetos e incorporada de forma positiva nas opções estéticas que estes priorizam.

Tabela 7 - Parâmetros em análise e variáveis do edifício de referência

PARÂMETROS			VARIÁVEIS	
Orientação			Norte-Sul	
Fator de Forma			Moradia Isolada	
Envolvente	Opaca	Vertical		Parede em contacto com o exterior
		Horizontal	Em terraço	Cobertura exterior em terraço
			Não útil	Cobertura exterior em godo
	Envidraçada	Vertical		Vãos envidraçados exteriores
		Horizontal		Claraboias
	Elementos de Sombreamento		Horizontal	Pala com 0,5m
Inércia Térmica			Forte	
Cor do Exterior			Branca	

4.4.1. ORIENTAÇÃO

A avaliação deste parâmetro, visa sobretudo compreender o impacto da orientação do edifício nas necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como no consumo de energia final. De acordo com a experiência dos profissionais de projeto, admite-se como hipótese a contribuição significativa da orientação dos edifícios na intensidade do uso de energia e na autonomia da luz natural. Os resultados, apresentados no capítulo seguinte, que dizem respeito ao estudo do impacto da rotação da moradia nas várias direções visam confirmar ou refutar a tese formulada. No presente caso de estudo, a orientação é observada pela influência da exposição da fachada principal da moradia nas quatro direções (Norte, Sul, Este e Oeste), sendo Norte a orientação atribuída ao edifício de referência. No *DesignBuilder*, para se fazer variar a exposição da fachada principal é necessário alterar a orientação do local. A cada orientação está associado um valor, em graus, tal como esquematizado na Fig. 28.

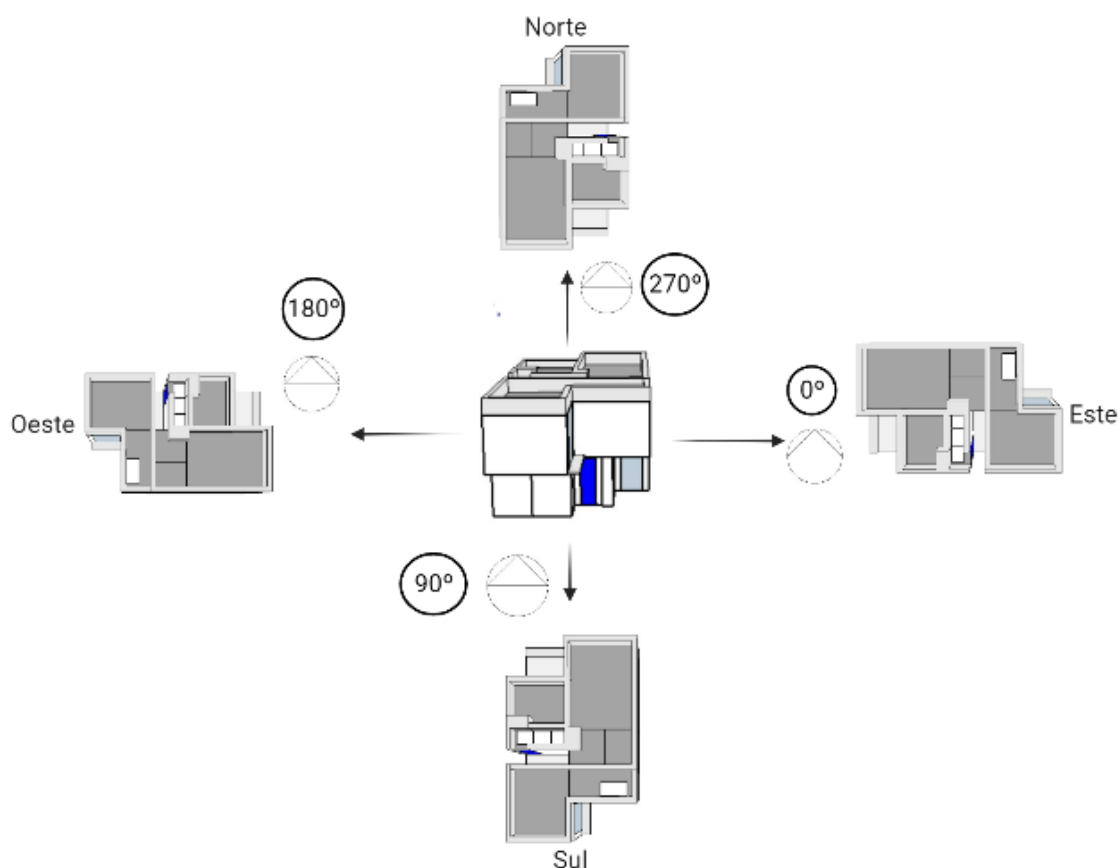


Fig. 28 - Exposição da fachada principal segundo as quatro direções

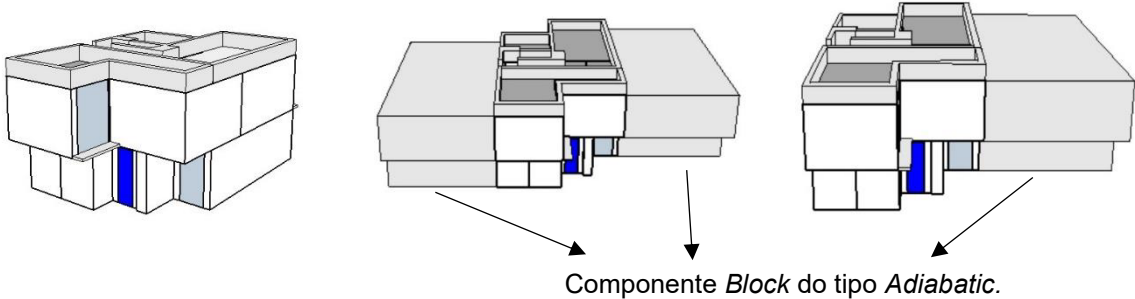
A observação do parâmetro orientação visa obter o cenário ideal, que ocorre quando as divisões mais utilizadas da habitação, entenda-se como divisões sociais, encontram-se orientadas de modo a maximizar o número de horas de captação solar, privilegiando a iluminação natural.

4.4.2. FATOR DE FORMA

O *DesignBuilder* não permite a introdução manual do valor correspondente ao fator de forma e, por isso, surge a necessidade de avaliar o seu contributo aplicando outro procedimento. Como o edifício em estudo integra um conjunto de moradias de tipologia V2 dispostas em banda, a consideração do fator de forma surge indiretamente influenciado pela variação do posicionamento da moradia em estudo, podendo ser isolada conforme o edifício de referência, estar entre moradias, ou num dos extremos do alinhamento. Este estudo visa sobretudo analisar a influência da alteração das condições de vizinhança. No caso da moradia isolada, a exposição às condições exteriores é superior e, por isso, as condições de isolamento das paredes exteriores são mais exigentes. As moradias dispostas em banda usufruem de paredes de meação comuns a duas frações contíguas, o que implica uma menor necessidade de isolamento destas paredes.

Durante o processo de modelação das moradias em banda, teve-se de readaptar o método de organização das mesmas, uma vez que a disposição simétrica de vários clones da moradia de referência não permite, ao *DesignBuilder*, identificar as condições de vizinhança. Na tentativa de alterar a espessura do isolamento das paredes de meação, impôs-se um valor quase nulo para o coeficiente de transmissão térmica superficial, com vista à simulação de um cenário adiabático em termos de trocas térmicas com o exterior. No entanto, este procedimento revela-se inadequado, uma vez que o programa não permite espessuras de isolamento térmico superiores a 3,0m. Portanto, em vez de se considerar os edifícios adjacentes como um clone da própria moradia de referência, representa-se esses edifícios adjacentes como sendo um componente *Block* do tipo *Adiabatic*, ou seja, um processo termodinâmico que ocorre sem que haja transferência de calor ou massa entre o sistema termodinâmico e o ambiente externo [58]. Deste modo, é possível simular uma situação real de edifícios adjacentes, cuja parede em comum, por não estar exposta, não apresenta trocas de calor com o meio exterior.

Tabela 8 - Variação do posicionamento da moradia para quantificar o fator de forma

Moradia Isolada	Moradia no meio	Moradia Extremo
		

4.4.3. ENVOLVENTE

Atualmente, a envolvente dos edifícios ultrapassa os deveres mais elementares de separação e abrigo à intempérie que estiveram na génese da sua conceção. O desenvolvimento e evolução técnica dos projetos têm vindo a comprovar o valor do envelope do edifício na obtenção da eficiência energética, uma vez que decisões inadequadas de conceção da envolvente instigam, na maioria das vezes, a implementação de medidas de compensação. O refinamento da composição da envolvente permite uma melhor avaliação do consumo de energia para aquecimento e arrefecimento do ambiente interior do edifício e, por isso, o conjunto da constituição das paredes e ventilação natural revela-se importante no desempenho

do edifício. A análise energética pode e deve ser feita logo no início do projeto, com recurso a ferramentas de simulação de energia capazes de dar resposta a composições detalhadas de paredes, perfis de ocupação, ganhos internos, ganhos solares, bem como ventilação mecânica e natural. Assim, os *softwares* de simulação passíveis de serem utilizados permitem idealmente o acoplamento entre cargas térmicas e fluxos de ar, com vista à eficiência do estudo da térmica da envolvente, inércia térmica e ventilação natural [59].

Explicado o interesse da envolvente para a análise de simulação inicial, a envolvente opaca é analisada pela variação dos coeficientes de transmissão térmica das paredes e coberturas da moradia, de modo a aferir sobre a influência deste parâmetro nos resultados de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento e, consequente, consumo energético.

Ao nível dos envidraçados, a tendência atual passa pela opção por janelas de grandes dimensões como meio de iluminação e de integração entre o espaço interior e o meio exterior. Além disso, a luz natural e as vistas para o exterior podem ter um efeito positivo na saúde e bem-estar dos ocupantes. A presença de janelas e claraboias representam um meio de aproveitamento dos ganhos solares e permitem a renovação do ar interior [59]. No programa, a influência das janelas para o estudo energético é analisada pela variação geométrica das mesmas. Assim, reduz-se para metade a área de todos os vãos envidraçados da moradia de referência. Quanto às claraboias para além de se fazer variar as suas dimensões, a sua significância é passível de ser observada a partir da anulação destes elementos envidraçados. Um último cenário de análise da envolvente envidraçada consiste na modelação da moradia com janelas menores e sem claraboias, com o intuito de aferir a relevância dos vãos envidraçados no seu conjunto.

Tabela 9 - Coeficientes de transmissão térmica para quantificação da envolvente opaca e variação da área envidraçada

Envolvente opaca		Envolvente envidraçada	
Parede em contacto com o exterior	Coberturas em terraço e não acessível	Janelas	Claraboias
$U = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	$U = 0,20 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	Vãos maiores	Com claraboias
$U = 0,50 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	$U = 0,40 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	Vãos reduzidos	Sem Claraboias
$U = 3,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	$U = 3,00 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	Janelas menores e sem claraboias	

No Anexo 5 apresenta-se a descrição dos materiais e respetivas propriedades das soluções da envolvente da moradia de referência.

4.4.4. ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO

Apesar dos benefícios estéticos, energéticos, de conforto e funcionais, a predominância de envidraçados implica um aumento do custo de construção e, na estação de arrefecimento, pode causar sobreaquecimento, caso o dimensionamento e conceção da envolvente envidraçada não seja projetado com especial atenção. Este efeito indesejado agrava quando as janelas e claraboias se encontram expostas segundo orientações que acentuam a captação solar, o que recomenda a inclusão de elementos de sombreamento, que garantam o aproveitamento da radiação solar, sem comprometer o conforto dos ocupantes. Para analisar este parâmetro, colocam-se palas horizontais nos vãos envidraçados e faz-se variar a sua profundidade, de modo a concluir a partir de que extensão é mínima a influência da sua geometria na análise energética. Também, se varia a extensão das palas na orientação cuja carga térmica

de arrefecimento é superior, para aferir o potencial destes elementos em compensar os efeitos gerados pela captação solar.

4.4.5. INÉRCIA TÉRMICA

À semelhança do que acontece com o fator de forma, o programa também não possibilita a introdução manual do valor correspondente à massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento ou respetiva classe de inércia térmica. Assim, o modo de consideração deste parâmetro implica a variação da composição das soluções construtivas. Sendo a inércia térmica fraca avaliada segundo uma solução construtiva leve e a inércia térmica forte influenciada por uma construção pesada.

Entenda-se como construção pesada as soluções construtivas tradicionais, compostas por lajes em betão armado e paredes de alvenaria. Como a espessura da laje do edifício de referência é de 0,20m e sendo a construção considerada pesada é de confiar que o valor da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento ultrapassa os 500 kg/m² e, por isso, a inércia térmica é considerada forte (ver Tabela 3).

Para analisar o desempenho da moradia com inércia fraca, procede-se à alteração do template das soluções construtivas para uma solução em madeira, característica das soluções leves. Para o presente caso de estudo considera-se painéis de OSB – “*oriented strand board*” ou aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas –, constituídos por lâminas de madeira, unidas por resina sintética, sobrepostas em três camadas e orientadas de forma perpendicular umas em relação às outras. A orientação das partículas confere ao painel uma elevada resistência mecânica, essencialmente no módulo de elasticidade e resistência à flexão. O OSB é indicado para aplicações estruturais em construção civil, com possível aplicação em pavimentos, coberturas e paredes. Os formatos dos painéis e as suas características hidrófugas resultam numa versatilidade na construção de paredes. Quanto às coberturas, este produto é capaz de suportar praticamente todos os tipos de forro de telhados, desde betumes, tijoleiras e telhas e, por isso, adequa-se aos acabamentos em cerâmica vidrada e seixo rolado das coberturas em terraço e não acessível, respetivamente, do caso de estudo. A sua combinação com madeira maciça para formar juntas em L, torna a construção mais económica e acessível.

4.4.6. COR DO EXTERIOR

A cor exterior de um edifício para além de ter um contributo estético, integra o revestimento que protege e preserva a estrutura do mesmo, sendo fundamental ao desempenho das fachadas. As paredes exteriores dos edifícios estão sujeitas a condições atmosféricas e, por isso, o seu nível de desgaste é superior. Das condições de exposição ambiental, salientam-se as variações de temperatura, a humidade, a exposição aos raios ultravioletas, exposição a impactos e abrasão. Para uma exposição solar elevada é recomendável o uso de cores claras, com índice de reflexão solar maior, capazes de prolongar a vida útil do revestimento. A orientação do edifício também é importante na fase de seleção da cor, na medida em que fachadas voltadas a Sul tornam as cores mais quentes, enquanto fachadas voltadas a Norte fazem parecer as cores mais frias. Assim, a cor do exterior é um elemento decisivo no acabamento de qualquer edifício, sendo imprescindível enquadrar a sua funcionalidade na envolvente exterior [60], [61].

A cor do exterior não é uma propriedade do material de revestimento, mas a cor da luz que reflete [60]. A absorptância solar, α_{sol} , das soluções exteriores, como paredes e coberturas, é fundamental para a quantificação dos ganhos solares no verão, sendo determinada em função da cor do revestimento exterior do elemento, conforme representado na Tabela 10 [34].

Tabela 10 - Absortância solar, α_{sol} [34]

Cor da superfície	α_{sol}
Cores claras: branco, creme, amarelo, laranja e vermelho-claro	0,4
Cores médias: vermelho-escuro, verde-claro, azul-claro e cinzento-claro	0,5
Cores escuras: castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro e cinzento-escuro	0,8

Para analisar a influência no desempenho da cor exterior nas cargas térmicas e nos consumos energéticos, distinguem-se dois tons para o revestimento exterior da moradia em estudo: branco, representativo das cores claras, sendo esta a cor atribuída à moradia de referência, e cinzento-escuro para analisar a influência de cores escuras. No *DesignBuilder*, para além de variar o tom de branco para cinzento-escuro, também é necessário preencher os valores correspondentes à absortância solar, 0,4 e 0,8, respetivamente. Pelo desempenho dos dois cenários, será possível aferir sobre a influência nos ganhos solares e na necessidade de consumir mais energia para arrefecer o ambiente interior gerado pelo efeito de absorção da cor escura face a consequência de reflexão associada à cor clara.

4.5. NOTAS FINAIS

No final do presente capítulo é possível conhecer o caso de estudo que serve de base à exposição e tratamento de resultados apresentados no capítulo que se segue. O subcapítulo de parametrização e modelação com o *DesignBuilder*, aprofunda a metodologia de introdução dos dados, construção do modelo tridimensional da moradia e procedimentos necessários até à fase de simulação. Assim, ao nomear e explicar sinteticamente o conjunto de operações pretende-se que fique esclarecida a estratégia de simulação energética do programa.

Para além disso, neste capítulo justifica-se a seleção dos parâmetros sujeitos a variação. Apesar de nem sempre ser possível variar a orientação ou o posicionamento dos edifícios, é perceptível a influência da exposição das fachadas segundo as quatro orientações, bem como a diferença das condições de vizinhança e consequentes trocas térmicas de um edifício isolado ou alinhado com outros. Por isso, sempre que possível devem ser analisadas todas as possibilidades de implantação do edifício em causa. No que diz respeito à envolvente, para a análise inicial de simulação do projeto é importante compreender que não é necessário conhecer a composição detalhada das soluções construtivas exteriores, o estudo foca-se em analisar possíveis diferenças das propriedades dos materiais que, por si só, constituam medidas de melhoria ao nível dos consumos energéticos. Conforme explicado, os elementos de sombreamento são cada vez mais valorizados nos edifícios modernos, devido à tendência para a preferência dos vãos envidraçados de grandes dimensões. Deste modo, o dimensionamento das palas é fundamental para controlar os ganhos de calor na estação de arrefecimento, sem descuidar o aquecimento natural do espaço interior no inverno. A inércia térmica é bastante completa e complexa e, por isso, é reconhecida como um dos parâmetros necessários ao presente estudo. Sendo o seu valor avaliado pelos tipos de construção leve e pesado atribuídos aos dois cenários de variação. Com este parâmetro pretende-se sublinhar as melhorias adquiridas apenas pelo tipo de construção, quer a nível energético e económico. Por fim, a exposição da cor do exterior esclarece a função das diferentes tonalidades face o objetivo de aquecer ou arrefecer o edifício, bem como a importância de integrar o ambiente de implantação na análise de seleção.

5

RESULTADOS

5.1. INTRODUÇÃO

A metodologia deste trabalho compreende três fases. Numa primeira instância começa-se por analisar as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento mais desfavoráveis, isto é, as potências de pico para cada um dos cenários, para a mesma moradia, apenas com a variação dos parâmetros listados e apresentados no capítulo anterior. O segundo momento de análise diz respeito à simulação do comportamento de cada cenário, relativo a um ano. Esta simulação é fundamental para calcular os consumos energéticos de cada moradia e aferir as respetivas necessidades anuais. Por fim, utiliza-se uma ferramenta de otimização do *DesignBuilder*, com vista à obtenção de uma ou várias soluções ótimas, a partir de diferentes combinações de variáveis, que garantam o mesmo objetivo em termos de minimização do consumo de energia final.

5.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS

5.2.1. ASPETOS GERAIS

Na prática, os resultados das cargas térmicas, em kW, servem de base ao dimensionamento dos sistemas de climatização, uma vez que permitem determinar quais as necessidades energéticas que os equipamentos a instalar devem assegurar. Conforme já mencionado, o principal objetivo do presente estudo visa reduzir o consumo de energia final, minimizando as necessidades energéticas por meio de medidas passivas. Por este motivo, é importante, antes da simulação dos consumos energéticos, analisar individualmente cada parâmetro em termos de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento. Com esta primeira análise pretende-se adquirir sensibilidade para comparar as potências de pico de cada parâmetro, no inverno e verão, e reconhecer as estratégias passivas com potencial para atenuar as necessidades energéticas do edifício.

No *DesignBuilder*, os cálculos do projeto de aquecimento, *heating design*, determinam a potência do equipamento de aquecimento necessária para atender às condições climáticas mais frias do projeto de inverno, no local de implantação do edifício. As simulações do projeto de aquecimento respeitam as seguintes condições [62]:

- Temperatura exterior constante definida para a temperatura exterior de projeto da estação de aquecimento;
- Velocidade e direção do vento definidas para valores de projeto;
- Sem ganhos solares;
- Sem ganhos internos de iluminação, equipamentos, ocupação, entre outros;
- Inclui fluxos de calor entre zonas com diferentes temperaturas;

- A simulação calcula as capacidades de aquecimento necessárias para manter os pontos de ajuste de temperatura em cada zona e exibe a perda total de calor dividida por elementos construtivos;
- A perda total de calor em cada zona é multiplicada por um fator de segurança (1,5 como padrão) para fornecer uma capacidade de projeto de aquecimento recomendada.

Da mesma forma, os cálculos do projeto de arrefecimento, *cooling design*, dão resposta à potência necessária do equipamento de arrefecimento para atender às condições climáticas mais quentes do projeto de verão, no local de implantação. As simulações do projeto de arrefecimento respeitam as seguintes condições [63]:

- Temperaturas exteriores periódicas em regime estacionário calculadas de acordo com as condições climáticas máximas e mínimas projetadas para o verão;
- Sem vento;
- Inclui ganhos solares através de janelas e ventilação natural;
- Inclui ganhos internos de ocupantes, iluminação e equipamentos;
- Inclui fluxos de calor entre zonas com diferentes temperaturas;
- A carga máxima de arrefecimento em cada zona é multiplicada por um fator de segurança (1,3 como padrão) para fornecer uma capacidade de projeto de arrefecimento recomendada.

É de salientar que os cálculos de projeto recorrem a métodos em regime estacionário, de acordo com as Normas ASHRAE. A simulação continua até que as temperaturas/fluxos de calor em cada zona tenham convergido ou até ao número máximo de horas especificado nas opções de cálculo [62], [63].

5.2.2. RESULTADOS

Na Fig. 29 apresenta-se o esquema síntese do conjunto de resultados obtidos para cada um dos parâmetros em análise. A exposição esquemática e visual dos resultados visa representar de uma forma prática e intuitiva as diferenças de cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento obtidas para cada variação e aferir sobre os ganhos ou perdas de calor conseguidos. De notar que a semelhança dos resultados para alguns dos parâmetros resulta do facto de a moradia de referência ter sido simulada repetidamente e, por isso, os valores das cargas térmicas das variáveis atribuídas à moradia de referência estão identificados pela numeração e são sempre iguais.

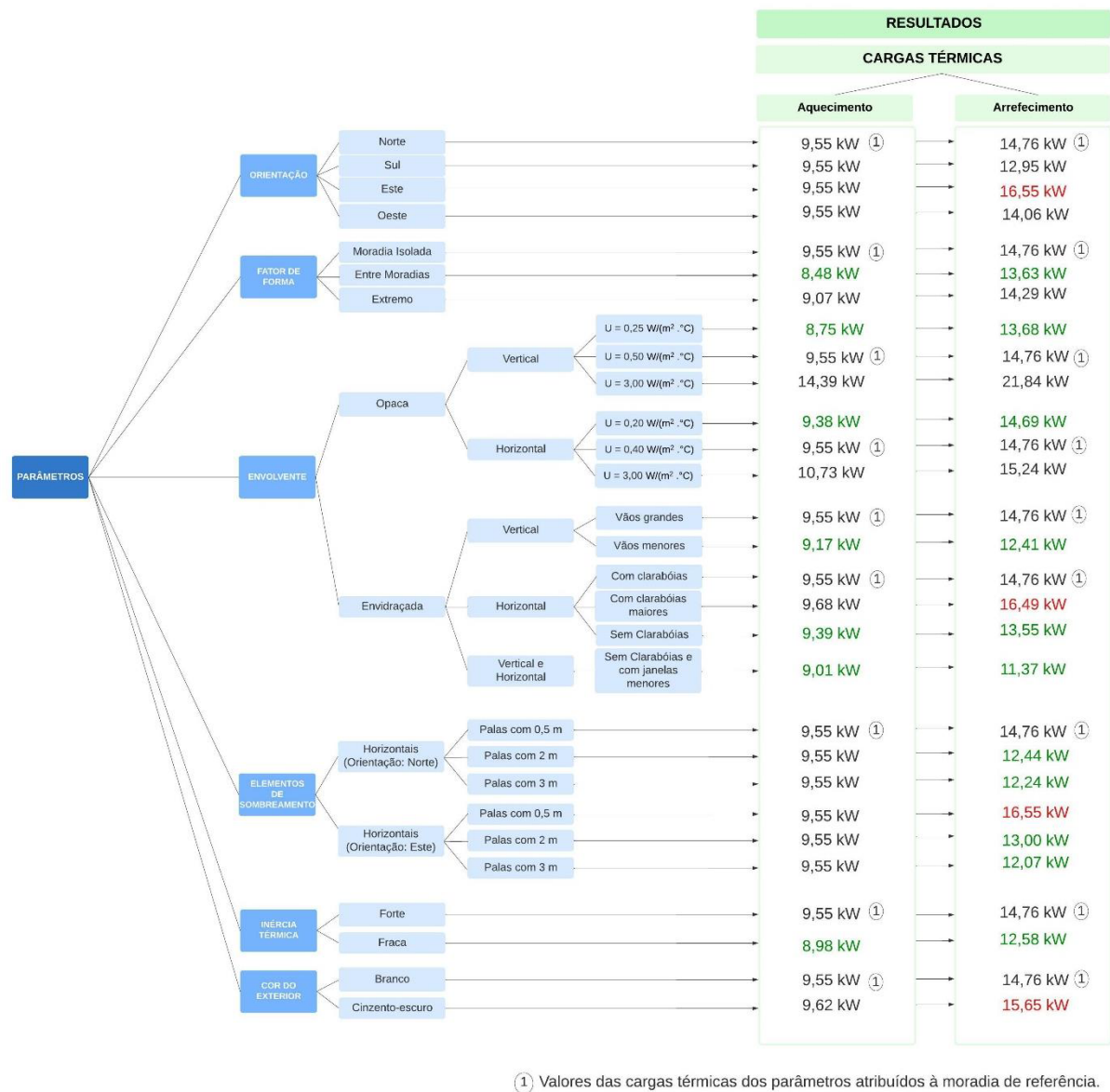


Fig. 29 - Esquema de resultados das necessidades energéticas das variáveis

5.2.3. APRECIÇÃO DOS RESULTADOS

5.2.3.1. Orientação

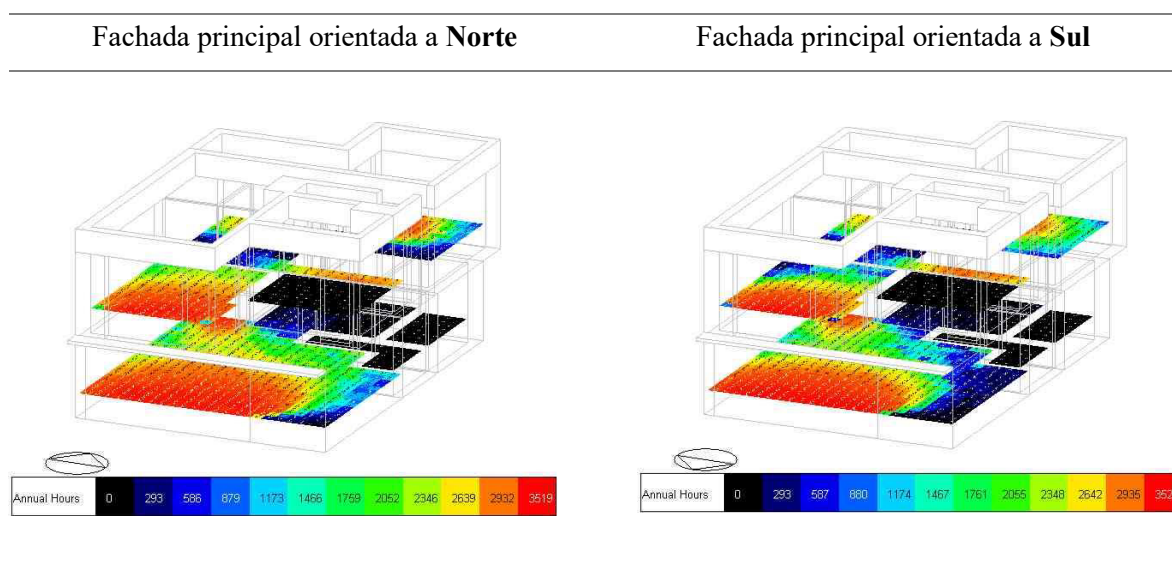
A variação da orientação do local permite aferir sobre a influência da alteração da exposição da moradia, segundo as quatro direções cartesianas. A orientação ideal, direção segundo a qual a luz e a radiação solar entram no edifício de uma forma adequada, é relevante para aproveitar a fonte de calor natural e economizar energia. De acordo com a Fig. 29, o fator orientação revela-se pouco relevante no inverno, tendo-se observado sempre o mesmo valor, 9,55 kW, para as cargas térmicas de aquecimento. Dito de outra forma, a orientação da moradia não é um fator determinante para as necessidades de aquecimento, uma vez que a rotação da moradia não altera a potência de pico de inverno.

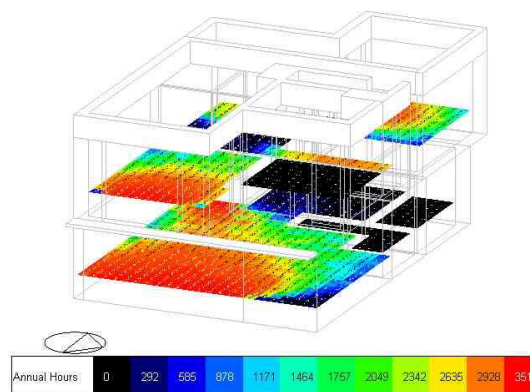
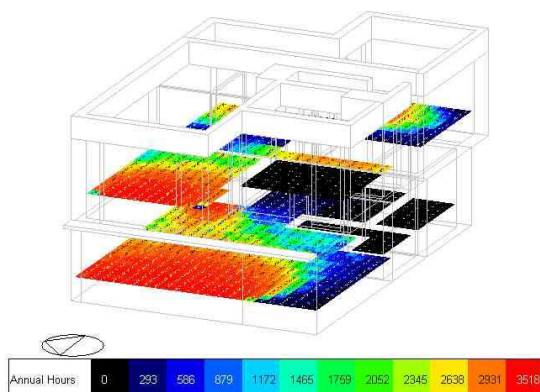
No que diz respeito ao verão, é possível concluir que a fachada principal orientada a Este apresenta o pior resultado. Esta constatação justifica-se pelo facto de o vão envidraçado maior encontrar-se exposto

a Oeste, quando a fachada principal está voltada a Este. É sabido que a orientação a Oeste implica uma maior radiação incidente nas horas mais quentes. Facilmente se percebe que a potência de pico superior de arrefecimento observada é consequência da exposição do vão envidraçado maior a Oeste, o que implica uma área exposta superior face a uma duração de incidência da luz natural prolongada. O excesso de radiação solar conduz a um efeito indesejado, o que implica um maior consumo dos sistemas de arrefecimento e, consequentemente, menor eficiência energética do edifício. Em oposição, a menor potência de pico de arrefecimento observa-se quando a fachada principal da moradia é simulada a Sul e, por isso, a maior janela fica voltada a Norte, recebendo apenas radiação durante a primeira e última hora do dia, nos meses de verão. Consequentemente, pode carecer de um maior gasto de energia para aquecimento e iluminação para compensar a pouca luz natural que a moradia recebe.

A Tabela 11 apresenta os mapas de autonomia da luz natural para cada uma das quatro orientações solares, que mostram a distribuição da disponibilidade de luz natural para um corte horizontal em todo o edifício, ao longo do ano. Os valores anuais representam a proporção de tempo durante os períodos ocupados em que o limite mínimo de iluminação, típico de 300 lux, pode ser garantido apenas pela luz do dia. A paleta de cores atribuída a cada espaço define até que ponto um espaço tem luz natural suficiente para permitir a realização de atividades sem a necessidade de utilizar iluminação elétrica. Como seria de esperar, as zonas mais afastadas dos vãos envidraçados recebem menos luz natural e, por isso, dependem mais horas do ano da luz artificial, consumindo mais energia. Consequentemente, estes espaços por receberem menos luz natural são mais frios, o que implica uma maior necessidade de aquecimento. Por outro lado, as zonas mais próximas das janelas dependem de menos horas anuais da luz elétrica e, pela maior incidência solar, constituem os espaços com maior necessidade de arrefecimento. Para além disso, privilegiar a luz natural constitui um aspeto social importante na qualidade de vida das pessoas, uma vez que transmite uma sensação de conforto e bem-estar superior.

Tabela 11 - Iluminação natural anual para as quatro orientações



Fachada principal orientada a **Este**Fachada principal orientada a **Oeste**

Posto isto, qual a melhor orientação solar do edifício? Importa referir que para além das diferentes opções de orientação, a solução resulta também das prioridades e preferências do cliente. Assim, se o cliente privilegiar a luz natural de manhã nas zonas de descanso e de tarde nas zonas sociais, deve-se adotar a fachada dos quartos a Nascente, para obter incidência direta quando o sol nasce, e a fachada a Oeste ou a Sul nas zonas comuns, com vista ao aproveitamento solar durante um período mais longo. A exposição a Norte implica pouca exposição solar, contudo o preço de compra é menor, ou seja, quanto maior a exposição solar melhor é a avaliação atribuída ao imóvel.

5.2.3.2. Fator de Forma

O fator de forma avaliado de acordo com o posicionamento da moradia permite concluir sobre a influência das condições de vizinhança nas cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, tendo em conta as soluções construtivas adotadas. Os resultados deste parâmetro correspondem ao esperado, uma vez que as piores potências de pico dizem respeito ao cenário de referência da moradia isolada, o que se justifica pela exposição de todas as fachadas às condições atmosféricas. Como as trocas com o exterior são significativas, a necessidade de recorrer aos sistemas de climatização para compensar os ganhos e perdas de calor no interior da moradia, é superior. Para além disso, as condições de isolamento das paredes exteriores são mais exigentes, o que implica um maior investimento na fase de construção. Quando a moradia localizada num dos extremos do alinhamento é simulada observa-se algumas melhorias, apesar de não serem significativas, na ordem dos, 5% para aquecimento e 3% para arrefecimento, o que se justifica pelo facto de uma das fachadas deixar de estar em contacto com o exterior passando a ser uma parede em comum com outra fração vizinha. Em concordância com as expectativas, os melhores resultados das potências de pico observam-se quando a moradia simulada se encontra no meio de outras, passando a ter apenas duas fachadas em contacto com o exterior e duas paredes de meação. Essas melhorias em relação à moradia de referência, traduzem-se em reduções das cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento, na ordem dos, 11% e 8%, respetivamente. Este posicionamento confere-lhe uma maior proteção e reduz os fluxos de calor entre o interior e o exterior. Conclui-se que a moradia posicionada em banda implica um menor custo de manutenção e menores consumos de energia para aquecimento e arrefecimento, pois tem maior potencial de preservar a energia no interior dos espaços.

5.2.3.3. Envolvente

Com o objetivo de validar o modelo, fez-se uma simulação da moradia atribuindo um valor exageradamente alto aos coeficientes de transmissão térmica das envoltentes opacas vertical e horizontal, $U=3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Como se obteve resultados mais elevados e, por isso, piores, é admissível confiar no modelo que se está a simular, já que os valores das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento são proporcionais ao valor do coeficiente de transmissão térmica.

Quando se varia o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca vertical de $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para metade, $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, verificam-se reduções das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, na ordem dos 8% e 7%, respetivamente. Conclui-se que as propriedades dos materiais das soluções construtivas das paredes exteriores, nomeadamente a espessura e a qualidade do isolamento térmico, constituem medidas passivas que por si só reduzem a necessidade de consumir energia para climatização. Por este motivo, a constituição das paredes exteriores, sobretudo para um clima quente característico de regiões a sul de Portugal, revela-se um parâmetro importante a considerar na simulação do projeto inicial.

Quando se diminui para metade o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca horizontal, as melhorias ao nível das potências de pico revelam-se menos significativas. De acordo com a Fig. 29, as reduções traduzem-se em 2% e 0,5% para aquecimento e arrefecimento, respetivamente. Embora as propriedades dos materiais que constituem a cobertura influenciem as necessidades energéticas, conclui-se que para edifícios com implantação no Algarve, o valor regulamentar máximo admitido para o coeficiente de transmissão térmica da cobertura, de $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, é bastante razoável e, por isso, qualquer investimento extra com vista a minimizar as cargas térmicas não se revela vantajoso, tendo em conta os resultados obtidos.

No que diz respeito à envolvente envidraçada, os resultados dividem-se em três grupos: o conjunto dos elementos envidraçados verticais, horizontais e a influência do conjunto dos vãos verticais e horizontais. Para os vãos envidraçados verticais, é expectável uma redução significativa, de 16%, da carga térmica de arrefecimento, quando se diminui a área das janelas para metade. Deste modo, o sobreaquecimento provocado por vãos envidraçados grandes no verão pode ser compensado pela redução da área de exposição das janelas. Ao nível das claraboias observa-se uma enorme discrepância quando se faz variar as suas dimensões, isto é, claraboias grandes implicam um aumento das cargas térmicas, sobretudo na estação de arrefecimento, quando a incidência solar é superior. Com o objetivo de minimizar o consumo de energia para arrefecer e, valorizar a estética da moradia, ao invés de retirar as claraboias, sugere-se um dimensionamento em concordância com as necessidades pretendidas. A proteção das claraboias é um trabalho de dimensionamento mais exigente em relação à proteção dos elementos envidraçados verticais e, por isso, deve-se garantir que as suas dimensões estão de acordo com o balanço de energia que se pretende consumir. A simulação da moradia com janelas menores e sem claraboias é representativa de uma situação ideal, visto terem os menores valores de cargas térmicas, com reduções na ordem dos 6% para aquecimento e 23% para arrefecimento. Posto isto, conclui-se que para garantir os níveis mínimos de conforto no verão, é necessário reduzir as dimensões das janelas ou quando os vãos envidraçados grandes são preferíveis deve-se compensar com elementos de proteção. As claraboias podem ter um efeito negativo, quando as suas dimensões não são adequadas. Tendo em conta a localização geográfica da moradia, a conceção de edifícios implantados a sul de Portugal deve ser cuidada, de modo a minimizar o excesso de radiação solar que incide nos envidraçados colocados nas coberturas.

5.2.3.4. Elementos de sombreamento

Conforme já mencionado, para compensar as cargas térmicas dos vãos envidraçados de grandes dimensões deve-se proceder à instalação de elementos de sombreamento. Com vista a equilibrar também o efeito provocado pela orientação, para além de se simular as diferentes palas na orientação atribuída à fachada principal da moradia de referência, também se fez variar o efeito das palas na orientação cuja carga térmica de arrefecimento é mais elevada, que conforme já mencionado, a orientação da fachada principal a Este representa a pior solução.

No que diz respeito à orientação Norte, quando se aumenta as palas de 0,5m para 2,0m de profundidade observam-se melhorias ao nível da potência de pico de verão. Esta redução de 16% confirma a importância das palas e a necessidade de serem consideradas em projeto, pois influenciam positivamente as necessidades energéticas. Deste modo, os elementos de sombreamento constituem uma solução eficaz para a tendência estética de preferir janelas grandes, vistas como um meio de ligação entre o ambiente interior e exterior. Simular o efeito das palas com 3,0m de profundidade visou averiguar até que ponto já não faz sentido aumentar as suas dimensões. De acordo com os resultados observados, confirma-se ser mínima a vantagem de palas com 3,00m em relação a palas com 2,00m, uma vez que a redução da carga térmica de arrefecimento é de 2%. Conclui-se que para o vão envidraçado de maior dimensão (4,5x2,3m) orientado a Sul, pois a fachada principal está voltada a Norte, é admissível considerar palas com 2,0m de profundidade ao longo de todo o comprimento da janela. Assim, admite-se que para os restantes vãos mais reduzidos, o efeito de palas semelhantes é suficiente.

A avaliação do efeito das palas quando a fachada principal está voltada a Este teve em consideração o mesmo procedimento. De acordo com o esperado, aumentar a profundidade das palas de 0,5m para 2,0m induz melhorias ao nível da potência de pico de verão, que se traduz em reduções de 21%. Deste modo, o sobreaquecimento que pode acontecer no verão é atenuado com a instalação de palas ao nível das janelas. O consumo do pior cenário, que acontece quando a radiação solar incide no maior vão orientado a Oeste, é reduzido com a instalação de palas, garantindo o conforto no interior dos espaços. Tendo em conta que esta é a situação mais desfavorável, o aumento da profundidade das palas para 3,0m tem mais significado do que no caso anterior, uma vez que se quantifica em 7% a redução da carga térmica de arrefecimento.

Conforme resulta dos resultados expostos, é importante evidenciar o efeito benéfico de dimensionar palas, uma vez que constituem medidas passivas capazes de atenuar as necessidades energéticas do edifício e, consequentemente, minimizar a dependência de equipamentos de climatização. Para além da análise das necessidades energéticas pretende-se observar o resultado do sombreamento das palas, quando a fachada principal está orientada a Norte e a Este e, portanto, a janela maior encontra-se voltada a Sul e Oeste, respetivamente. Para tal, pretende-se analisar o efeito do sombreamento num dia de verão, 21 de julho, e num dia de inverno, 21 de dezembro, fazendo variar a posição do sol de duas em duas horas. A Fig. 30 esquematiza o efeito das palas voltadas a Sul no verão e a Fig. 31 no inverno. O efeito das palas orientadas a Oeste, nas estações de arrefecimento e aquecimento, está patente na Fig. 32 e na Fig. 33, respetivamente.

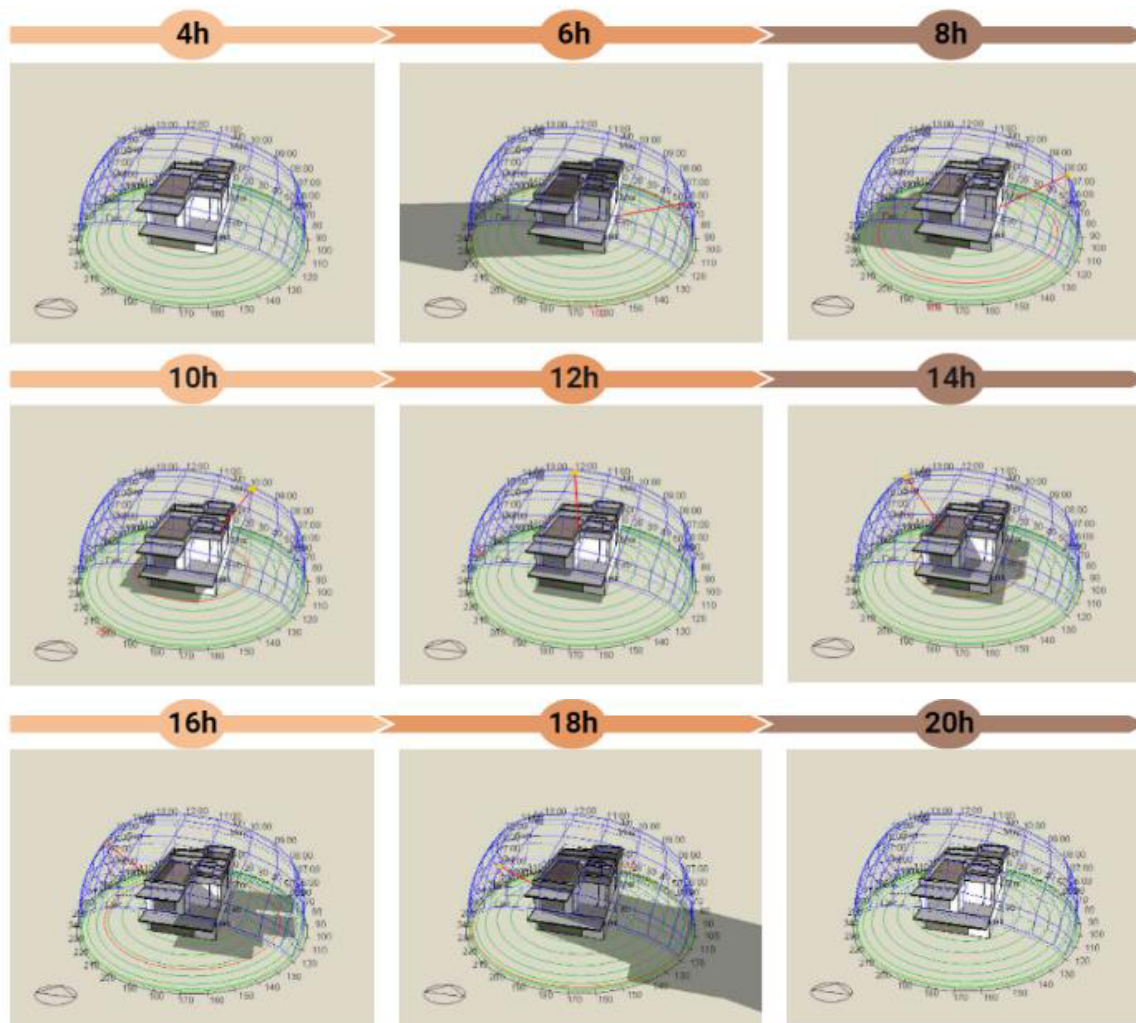


Fig. 30 - Esquema de sombras no dia 21 de julho com palas de 2,0m de profundidade voltadas a Sul

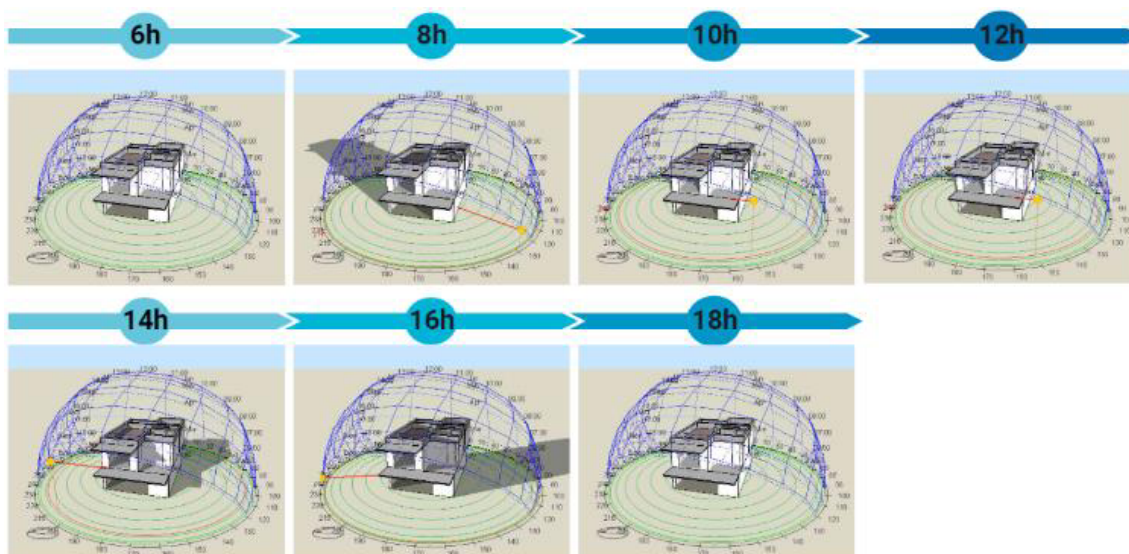


Fig. 31 - Esquema de sombras no dia 21 de dezembro com palas de 2,0m de profundidade voltadas a Sul

Pelo esquema da Fig. 30 as palas orientadas a Sul, no verão, provocam sombras com algum significado, representativas do resultado pretendido para esta estação do ano. Nas horas mais críticas, entre as 12h e as 18h, o efeito das palas com 2,0m de profundidade é favorável, uma vez que as divisões interiores se encontram em sombra e, por isso, estão devidamente protegidas à incidência da radiação solar. Pelo esquema de sombreamento da Fig. 31 observa-se a exposição dos espaços interiores comuns à radiação solar nas horas de maior calor. Portanto, a pala voltada a Sul permite o aproveitamento da radiação solar para aquecer os espaços interiores e usufruir da iluminação natural no inverno.

Deste modo, comprova-se que as palas a Sul são benéficas. Quando devidamente dimensionadas para as condições geográficas de implantação, evitam efeitos de sobreaquecimento no verão, protegendo o interior do edifício do excesso de radiação solar. Simultaneamente, as palas orientadas a Sul permitem captar os ganhos solares no inverno, aquecendo o ambiente interior. Assim, para edifícios localizados no Algarve, as palas a Sul constituem uma solução passiva adequada, pela capacidade em garantir o conforto no interior dos edifícios, nas duas estações mais críticas do ano, minimizando a necessidade de consumir energia para climatização.

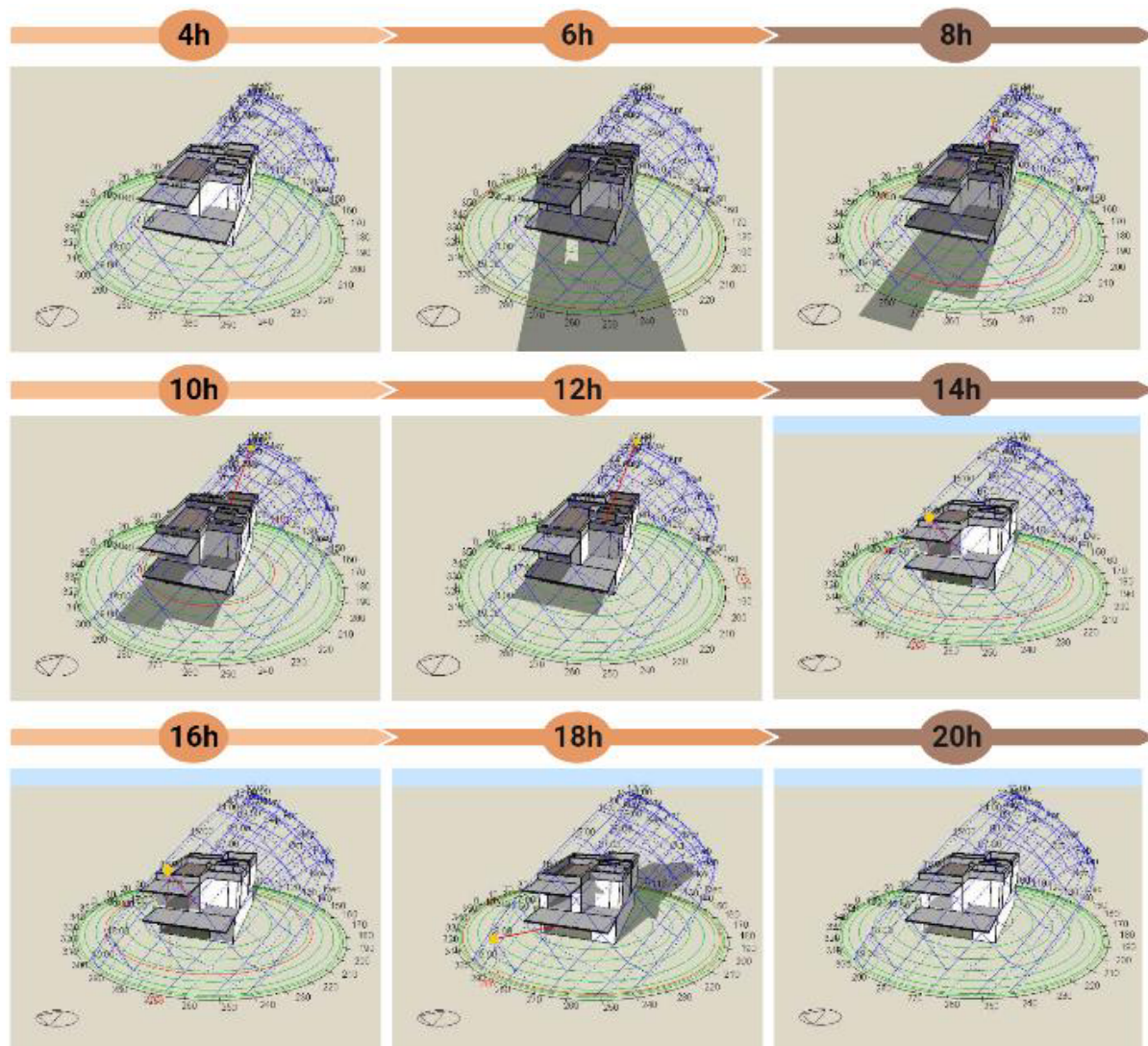


Fig. 32 - Esquema de sombras no dia 21 de julho com palas de 3,0m de profundidade voltadas a Oeste

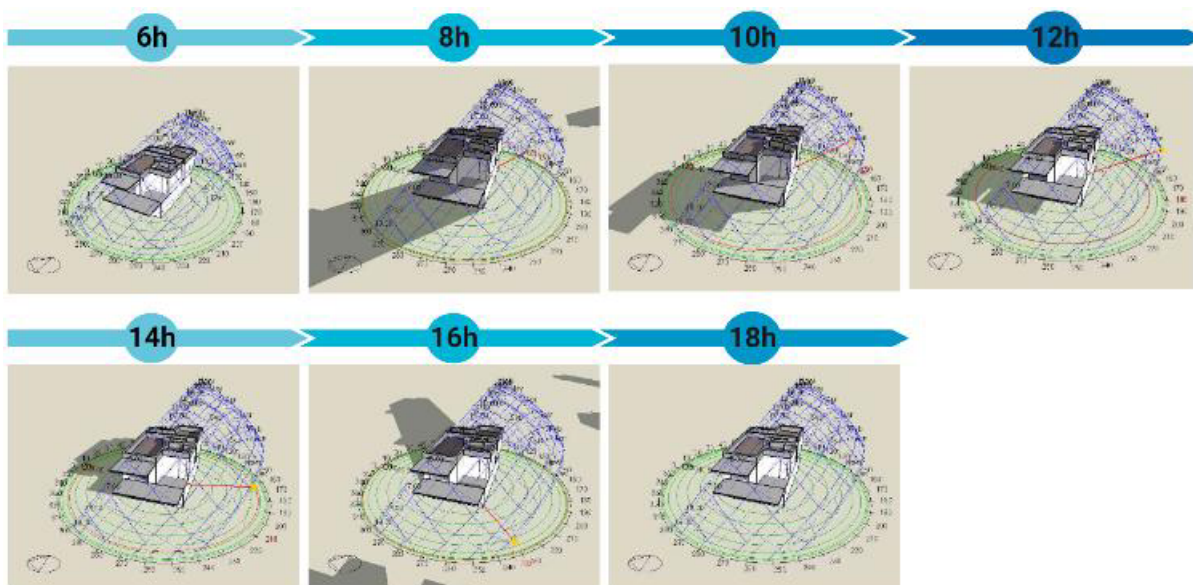


Fig. 33 - Esquema de sombras no dia 21 de dezembro com palas de 3,0m de profundidade voltadas a Oeste

De acordo com a Fig. 32, é possível confirmar o efeito benéfico das palas com 3,0m de profundidade orientadas a Oeste, no verão. Como a posição a que o sol se encontra é baixa, então para que os espaços interiores não estejam diretamente expostos à radiação solar é necessário que a dimensão das palas seja maior, de modo que a sombra projetada seja suficiente para proteger o interior do edifício, mantendo a temperatura de conforto interior. No inverno, as palas orientadas a Oeste criam uma sombra mínima, o que facilita a incidência solar diretamente nos vãos envidraçados e, conseqüentemente, o aproveitamento das fontes naturais de luz e calor, conforme o esquema da Fig. 33.

Posto isto, as palas orientadas a Oeste podem ser eficientes para um edifício sujeito às condições climáticas de regiões a sul de Portugal. No entanto, é necessário ter em atenção que a extensão das palas deve ser devidamente dimensionada para que o efeito de sombra seja suficiente para proteger os espaços interiores no verão e permitir a captação solar no inverno, de modo a assegurar o conforto e bem-estar dos ocupantes. Neste caso, teve-se de aumentar as palas de 2,00m para 3,00m para que a sombra projetada fosse suficiente. Conclui-se então que as palas orientadas a Oeste, no Algarve, com uma extensão considerável também representam uma estratégia passiva inteligente, em consequência do resultado desejado no verão e inverno.

5.2.3.5. Inércia Térmica

A consideração da inércia térmica é função do tipo de construção. Soluções leves têm inércia térmica fraca, por exemplo, soluções em madeira. Soluções tradicionais pesadas, como betão e alvenaria, correspondem a inércias térmicas fortes. Admitindo que há sempre um equipamento ativo de climatização, a inércia térmica parece que conduz a menores necessidades. Esta constatação não corresponde à noção de que em climas mediterrânicos do sul da Europa, as soluções pesadas garantem um melhor conforto térmico, designadamente de verão. Esta análise precisava de ser aprofundada, porque essa noção corresponde, em geral, a soluções construtivas sem recurso a climatização contínua, como ocorria no passado.

5.2.3.6. Cor do Exterior

As cargas térmicas dos cenários da moradia com cor exterior branca e cinzento-escuro estão em concordância com os efeitos de refletância e absorvância solar. Quer isto dizer que, apesar de cada vez ser mais comum pintar o exterior dos edifícios com cores mais escuras, o seu efeito, sobretudo no verão, pode não ser benéfico. Sendo o aumento de 6% da potência de pico de arrefecimento resultado desse efeito. Quando o sol incide nas paredes exteriores, a tonalidade mais escura tende a captar a maior parte da radiação solar e a aquecer a camada exterior da parede. Quando a temperatura exterior é superior à temperatura interior, o calor é transportado para o espaço interior, por condução, aquecendo o ambiente interno. Este efeito não é desejado quando a temperatura interior ultrapassa a temperatura interior de conforto, que apenas volta a ser garantida por meio de climatização. Em oposição, quando a radiação incide na cor branca, esta tende a captar apenas uma percentagem mínima da radiação solar, refletindo a maior parte. Assim, a temperatura interior não é afetada e as condições de conforto não se alteram.

5.3. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

5.3.1. ASPETOS GERAIS

Após uma primeira análise das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento é possível adquirir sensibilidade para compreender o comportamento e influência de cada parâmetro em estudo e aferir quais as medidas passivas que têm maior potencial para minimizar o consumo energético. Para tal, a simulação dos diferentes cenários de moradias visa obter a quantificação do valor final do consumo de energia num ano, em kWh. Posto isto, os resultados permitem comparar o efeito de cada parâmetro na fatura de energia final.

De acordo com as informações do *DesignBuilder*, a simulação permite gerar dados detalhados de desempenho energético do edifício de hora a hora, de acordo com as informações meteorológicas introduzidas pelo utilizador. Neste caso, o resultado anual, das consecutivas simulações, teve por base o *template* climático apresentado na Tabela 4. O *software* de modelação recorre ao *EnergyPlus* para calcular as simulações com as seguintes características [64]:

- Considera condução de calor e convecção entre zonas com temperaturas distintas;
- Inclui ganhos solares pelos vãos envidraçados;
- Simulação dos equipamentos AVAC;
- Inclui um ou mais dias de aquecimento para garantir a correta distribuição de calor na massa térmica do edifício no início da simulação;
- O aquecimento continua até que as temperaturas e fluxos de calor em cada zona tenham convergido ou até ao número máximo de dias especificado nas opções de cálculo.

Para respeitar todas as condições, teve-se em conta a necessidade de introduzir o sistema de climatização, de modo que o programa tivesse todas as informações necessárias para o cálculo dos consumos energéticos. De mencionar que se utilizou um sistema de AVAC constituído por unidade exterior do tipo chiller/bomba de calor ar-água, com unidades interiores de climatização do tipo ventiloconvectores a 4 tubos. Contudo não se pretende aprofundar este tema, pois sai fora do âmbito da presente dissertação.

5.3.2. RESULTADOS

Na Fig. 34 apresentam-se as variáveis que dizem respeito a cada um dos cenários simulados e respetivos consumos anuais de energia final. Este resultado revela-se importante na medida em que permite

quantificar o impacto sentido na fatura de energia. Neste caso, qualquer redução no consumo de energia é resultado da implementação de melhorias ao nível das estratégias passivas.

		●	●	●	●	●	●	●	●		
		Orientação da fachada principal	Fator de Forma	Paredes exteriores	Coberturas	Janelas	Clarabóias	Palas	Inércia Térmica	Cor do Exterior	
Moradia de Referência	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	8027	
Cenário 1	Sul	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	8253	+3%
Cenário 2	Este	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	9111	+14%
Cenário 3	Oeste	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	8955	+12%
Cenário 4	Norte	Moradia no meio	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7639	-5%
Cenário 5	Norte	Moradia extremo	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7852	-2%
Cenário 6	Norte	Moradia Isolada	U=0,25 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7701	-4%
Cenário 7	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,20 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7981	-1%
Cenário 8	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Menores dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7688	-4%
Cenário 9	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Sem clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7633	-5%
Cenário 10	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias de grandes dimensões	0,5m de extensão	Forte	Branco	8563	+7%
Cenário 11	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Menores dimensões	Sem clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Branco	7334	-9%
Cenário 12	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	2,0m de extensão	Forte	Branco	7688	-4%
Cenário 13	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	3,0m de extensão	Forte	Branco	7819	-3%
Cenário 14	Este	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	2,0m de extensão	Forte	Branco	8370	+4%
Cenário 15	Este	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	3,0m de extensão	Forte	Branco	8168	+2%
Cenário 16	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Fraca	Branco	7685	-4%
Cenário 17	Norte	Moradia Isolada	U=0,50 W/(m² .°C)	U=0,40 W/(m² .°C)	Grandes dimensões	Com clarabóias	0,5m de extensão	Forte	Cinzentos-escuros	8296	+3%

Fig. 34 - Consumos anuais de energia final dos cenários simulados

Importa também conhecer qual o valor atual do preço do kWh, correspondente à unidade de energia elétrica. De acordo com as empresas comercializadoras de eletricidade, o preço do kWh varia bastante, já que depende da tarifa de eletricidade, potências dos equipamentos e outros parâmetros que são estabelecidos no contrato. Aproximadamente, o preço que os clientes particulares pagam todos os meses pelo consumo de eletricidade no imóvel é 0,13640 €/kWh [65]. O gráfico da Fig. 35 visa traduzir em termos de custo mensal o impacto das medidas passivas simuladas, pela variação dos parâmetros em estudo.

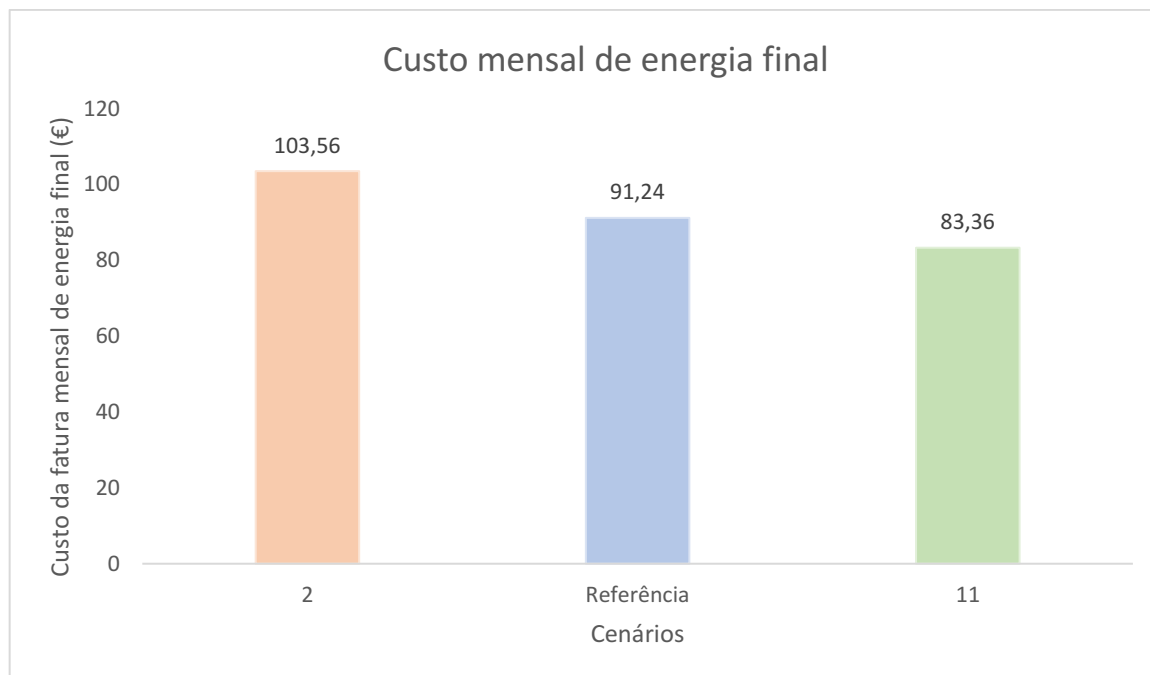


Fig. 35 - Custo de energia dos cenários limite, em relação à fatura mensal da moradia de referência

5.3.3. APRECIÇÃO DOS RESULTADOS

Para credibilizar a comparação dos diferentes cenários com base na moradia de referência é necessário validar o valor do consumo de energia final obtido pela simulação do modelo, isto é, garantir que o consumo em kWh/m² da moradia de referência é um valor aceitável para edifícios com características idênticas ao que se está a analisar. Para confirmação teve-se por base a experiência da equipa de projeto de mecânica, bem como o estudo experimental – *Energy Consumption in a new domestic buildings 2015 – 2017 (England and Wales)* -, pelo que se admite como válidos consumos entre os 70 a 120 kWh/m². Sendo 77,82 kWh/m² o consumo de energia final da moradia de referência por metro quadrado, então é possível confirmar e validar o modelo para comparação de resultados. Para além disso, como o valor é relativamente baixo pode-se admitir que o projeto inicial do presente caso de estudo, ou seja, o ponto de partida, é já razoável em termos de eficiência energética. No entanto, as melhorias com base nos parâmetros simulados visam, por meio de medidas passivas, reduzir o consumo anual de energia final. A oportunidade de reduzir o consumo de energia foi analisada com base nas metas descritas pelo estudo LETI - *Climate Emergency Design Guide* que revelam os objetivos na intensidade de uso de energia (EUI), excluindo a contribuição de energia renovável. De acordo com este estudo, consumos energéticos dos edifícios de habitação devem ser idealmente reduzidos para 35 kWh/m² por ano, pelo que o consumo por metro quadrado da moradia de referência é um valor ainda com oportunidades importantes de melhoria [66].

De acordo com a Fig. 34 é perceptível o aumento dos consumos anuais de energia final de alguns dos cenários simulados em relação ao consumo do edifício de referência. O consumo anual de energia final mais elevado diz respeito ao cenário 2, com a fachada principal orientada a Este. Deste modo, os resultados confirmam que a pior estratégia inclui a janela de maior dimensão voltada a Oeste, o que se justifica pela maior necessidade de climatizar o ambiente interior no verão e no inverno de utilizar mais energia elétrica para desenvolver as atividades prescritas em cada espaço. Analisando isoladamente a orientação do edifício, a melhor solução resulta de expor a fachada principal orientada a Norte. A

simulação das palas voltadas a Oeste tem como objetivo avaliar a capacidade destes elementos em reduzir o consumo de energia final do cenário 2. Pelos resultados dos cenários 14 e 15, confirma-se que o sombreamento provocado por palas voltadas a Oeste é benéfico, uma vez que o consumo anual de energia final reduz 7% e 9%, respetivamente, comparativamente com o consumo do cenário 2. No entanto, estas melhorias não são suficientes para que o consumo destes cenários seja inferior ao consumo da moradia de referência e, por isso, a orientação a Norte é a orientação ideal para a fachada principal. Pelos resultados do cenário 17 é possível reconhecer o potencial da cor exterior do edifício para impactar diretamente no aquecimento e arrefecimento do ambiente interior do edifício. Deste modo, escurecer a cor das paredes exteriores tem significado, pois tende a absorver a maior parte da radiação solar e, consequentemente, a aumentar a temperatura interior. Assim, para garantir uma baixa absorção solar deve-se optar por uma cor clara para o exterior do edifício.

Em contraste, as simulações dos restantes cenários revelam consumos energéticos anuais inferiores ao da moradia de referência e, por isso, constituem medidas com potencial para minimizar o recurso a equipamentos eficientes e melhorar o desempenho do edifício apenas com soluções passivas eficientes a ter em conta na fase de projeto e construção. Pela Fig. 34 destaca-se o cenário 11, representativo da simulação da moradia com janelas de menor dimensão e sem claraboias, com o menor consumo anual de energia final, sendo 9% inferior ao resultado da moradia de referência. O aumento do consumo verificado com a simulação da moradia com claraboias de grande dimensão, cenário 10, confirma que estes elementos envidraçados colocados na cobertura, por não lograrem de proteção, têm grande impacto no desempenho de um edifício sujeito às condições climáticas do Algarve, uma vez que as temperaturas no verão são elevadas e a incidência da radiação solar pode implicar o sobreaquecimento dos espaços interiores e, consequente, necessidade de arrefecer o ambiente. Como no inverno, o clima é ameno e as temperaturas não tendem a ser muito baixas, os ganhos conseguidos pelo aproveitamento da luz natural não são suficientes para compensar o consumo de energia para climatização no verão. Pelo que se conclui que conjugar um dimensionamento adequado das janelas e claraboias tem um peso relevante no consumo energético de edifícios a sul de Portugal.

As melhorias ao nível do fator de forma são quantificadas pelos cenários 4 e 5 e, embora a diferença de consumos seja pouco significativa, na ordem dos 3%, é possível confirmar que as condições de vizinhança têm impacto no conforto e bem-estar dos ocupantes. Quando a moradia se encontra no meio do alinhamento, cenário 4, o consumo energético é inferior ao verificado pela simulação da moradia posicionada num dos extremos ou isoladamente, pelo que a maior exposição das fachadas às condições climáticas implicam mais trocas térmicas com o exterior, destabilizando a temperatura interior de conforto. No entanto, o cliente tende a valorizar e preferir edifícios com pelo menos três frentes, o que pelos resultados apresentados o posicionamento num alinhamento de edifícios não tende a oscilar significativamente o consumo de energia final anual e, por isso, uma moradia no meio ou extremos do alinhamento é uma opção favorável, que se traduz em reduções de energia no futuro.

No que diz respeito à envolvente opaca vertical é de salientar que a redução do coeficiente de transmissão térmica superficial da parede manifesta-se pelo aumento da espessura e qualidade do isolamento térmico, o que pelo resultado do cenário 6 tende a reduzir o consumo energético. A constituição da envolvente é sem dúvida um parâmetro com interesse no dimensionamento do edifício, pois a resistência térmica oferecida pelas paredes exteriores é, por si só, uma medida passiva com capacidade para minimizar os fluxos de calor entre o exterior e o interior, contribuindo para estabilizar a temperatura entre divisões contíguas. A redução para metade dos coeficientes de transmissão térmica das coberturas traduz-se em menos de 1%, o que permite constatar que o valor máximo regulamentar da envolvente opaca horizontal, de 0,40 W/(m².°C), já é satisfatório para cálculos de simulação e, por isso,

para projetos futuros com características semelhantes recomenda-se considerar o valor que consta no regulamento.

Conforme esperado, a colocação de palas a Sul, cenários 12 e 13, minimiza o consumo de energia, já que facilitam a proteção dos vãos envidraçados nas horas de maior incidência solar, garantindo o aproveitamento da luz natural. Por isso, conjugar a orientação Norte-Sul com palas voltadas a Sul é uma solução válida. Neste caso, estender as palas até 2,0m representa uma opção praticável em termos de consumo anual e despende de uma menor potência para os equipamentos de climatização, conforme explicado no tópico das necessidades energéticas.

A proporcionalidade direta em termos económicos relativamente ao consumo energético constitui para o cliente uma representação real da fatura de energia mensal. Na ótica dos projetistas, perceber e conhecer as necessidades e consumos de energia é essencial para nomear o conjunto de medidas de conceção com maior potencial para maximizar o desempenho do edifício, enquanto o interesse dos clientes passa pela tradução económica desses consumos e, por isso, o gráfico da Fig. 35 quantifica para cada cenário a fatura mensal de energia, face o valor aproximado do custo do kWh/m². O cenário 2 com maior consumo é necessariamente o mais caro e o cenário 11 com o melhor consumo energético anual corresponde ao cenário mais económico. A dispersão entre os cenários limite traduz-se em 20%, o correspondente a 20€ por mês e, por isso, uma poupança anual de 242€. Deste modo, ao analisar apenas uma das moradias do aldeamento, confirma-se o potencial da simulação energética. A comparação económica dos cenários limite é possível prever o retorno monetário adquirido com a realização de simulação energética dos projetos.

5.4. ANÁLISE DE OTIMIZAÇÃO

5.4.1. ASPETOS GERAIS

A otimização é uma técnica que procura identificar, de forma eficaz, as opções de conceção que melhor satisfazem os principais objetivos de desempenho do edifício. Esta ferramenta permite incluir na análise um conjunto de variáveis de projeto em combinação com até 2 objetivos. Os resultados podem ser representados graficamente e os conjuntos de variáveis com os melhores resultados constituem as soluções ótimas. O método de introdução de dados para processar a otimização é composto pelas seguintes quatro etapas [67]:

- Identificar os **objetivos**, que definem de que forma o sucesso de uma determinada variável é medido, identificando se é pretendido minimizar ou maximizar o objetivo que se pretende atingir;
- Se necessário, identificar os **resultados adicionais** para cada iteração;
- Identificar possíveis **restrições**, que correspondem a limites de desempenho do edifício;
- Selecionar o conjunto de **variáveis**, isto é, os elementos de projeto e respetivos valores a variar durante a análise.

O processo iterativo continua até ao número máximo de iterações especificado nas opções de cálculo ou até à convergência de resultados [67].

5.4.2. RESULTADOS

No presente caso, procura-se atingir um único objetivo, que consiste em minimizar o consumo anual de energia final, a partir do conjunto de variáveis com potencial para melhorar os consumos energéticos, por meio de um processo iterativo. Para tal, selecionaram-se alguns dos parâmetros com potencial para

serem avaliados pela ferramenta de otimização. A Tabela 12 reúne as definições e parâmetros a variar para cada variável em análise na otimização.

Tabela 12 - Variáveis em análise no processo de otimização

Objetivo: Minimizar o consumo anual de energia final				
Variáveis	Valor mínimo	Valor máximo	Step (otimização)	Opções
Orientação	0°	270°	90°	1- Fachada principal voltada a Norte (270°) 2- Fachada principal voltada a Sul (90°) 3- Fachada principal voltada a Este (0°) 4- Fachada principal voltada a Oeste (180°)
Envolvente opaca vertical	U=0,25 W/(m².°C)	U=0,50 W/(m².°C)	-	1- Parede em contacto com o exterior com coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar 2- Parede em contacto com o exterior com coeficiente de transmissão térmica inferior ao valor máximo regulamentar
Envolvente opaca horizontal	U=0,20 W/(m².°C)	U=0,40 W/(m².°C)	-	1- Cobertura em terraço com coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar 2- Cobertura não acessível com coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar 3- Cobertura em terraço com coeficiente de transmissão térmica inferior ao valor máximo regulamentar 4- Cobertura não acessível com coeficiente de transmissão térmica inferior ao valor máximo regulamentar
Envolvente envidraçada	20% (Window to Wall)	80% (Window to Wall)	2%	-
Inércia Térmica	-	-	-	1- Solução leve em madeira 2- Solução pesada em betão
Cor do exterior	-	-	-	1 - Branco 2 - Cinzento-escuro

Após a introdução dos dados necessários à otimização, o *DesignBuilder* reúne condições suficientes para iniciar o processo iterativo, que consiste na associação aleatória de todas as variáveis, de modo a simular todos os cenários possíveis, com indicação do respectivo consumo anual de energia final.

A Fig. 36 corresponde à representação gráfica dos resultados de otimização obtido no *DesignBuilder*, que esquematiza a variação dos consumos anuais de energia final para cada iteração. Na Tabela 13 apresentam-se as combinações aleatórias de variáveis correspondentes a cada repetição. A observação dos consumos obtidos visa definir os cenários ótimos, que correspondem ao conjunto de variáveis com o menor consumo anual de energia final da moradia em estudo.

O processo de otimização termina na iteração 103, sendo este o número de repetições que corresponde à convergência de valores. Isto é, a partir desta iteração, os consumos energéticos estabilizam, não havendo outras combinações de variáveis possíveis que possam reduzir mais o objetivo final.

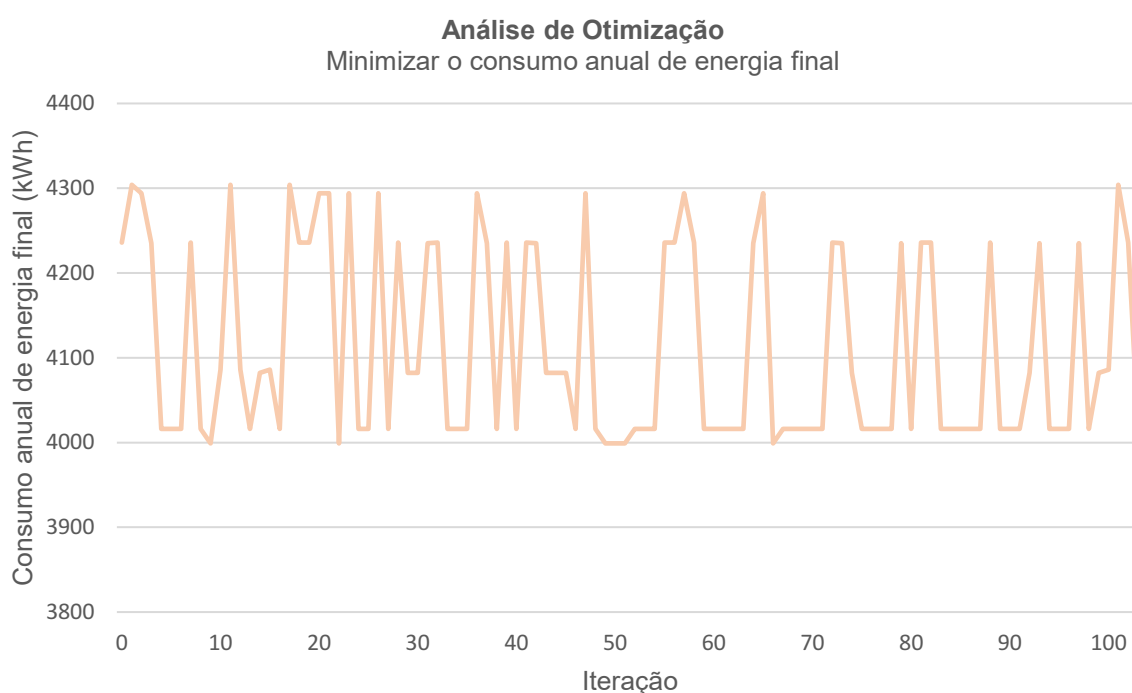


Fig. 36 - Variação do consumo anual de energia final por iteração obtido pela análise de otimização

Iteração	Objetivo	Variáveis				Orientação		
		Consumo anual de energia elétrica (kWh)	Envolvente					
		U [W/(m².K)]	Óptica Vertical	Óptica Horizontal	Envidraçada			
				Cor do Exterior	Inércia Térmica			
				% Window to Wall	Tipo de construção da estrutura vertical		Tipo de construção da estrutura horizontal	
0	4326	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	34	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
1	4304	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	76	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	0
2	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	46	Branco	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução leve	180
3	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	30	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	180
4	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	50	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
5	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	28	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
6	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	30	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
7	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	66	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	0
8	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	52	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
9	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	46	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	270
10	4086	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	32	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução pesada	270
11	4304	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	60	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução pesada	0
12	4086	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	46	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	270
13	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	76	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	90
14	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	60	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
15	4086	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	52	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	270
16	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	78	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
17	4304	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	20	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução pesada	0
18	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	78	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	0
19	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	66	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	0
20	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	22	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	180
21	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	48	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução pesada	180
22	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	44	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	270
23	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	76	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	180
24	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	54	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
25	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
26	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	22	Branco	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução pesada	180
27	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	76	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
28	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	50	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
29	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	30	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
30	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	46	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
31	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	74	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	180
32	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
33	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	22	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
34	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	26	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
35	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	54	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
36	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução pesada	180
37	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	52	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	180
38	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	64	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
39	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	68	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	0
40	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
41	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	78	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
42	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	34	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	180
43	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	26	Branco	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução leve	90
44	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	54	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
45	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	56	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
46	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	32	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
47	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	22	Branco	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução leve	180
48	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	48	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
49	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	44	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	270
50	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	74	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	270
51	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	28	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	270
52	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	56	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
53	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	42	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
54	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
55	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	44	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	0
56	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	80	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	0
57	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	24	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	180
58	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	48	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	0
59	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	42	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
60	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	68	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
61	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	36	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
62	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	48	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
63	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	78	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
64	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	40	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	180
65	4294	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	50	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	180
66	3999	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	60	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	270
67	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	44	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
68	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	56	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
69	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	72	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	90
70	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	30	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
71	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	32	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
72	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	80	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	0
73	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	26	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	180
74	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	66	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução pesada	90
75	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	66	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
76	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	62	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
77	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	68	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
78	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	38	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
79	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	44	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	180
80	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	46	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	180
81	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	26	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
82	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	30	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
83	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	24	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
84	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	30	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
85	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	76	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	90
86	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	34	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
87	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	78	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
88	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	32	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
89	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	80	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	90
90	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	50	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
91	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	22	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90
92	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	78	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
93	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	46	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	180
94	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	40	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	180
95	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	46	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução leve	90
96	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	60	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução leve	90
97	4235	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	56	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	180
98	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,40	80	Branco	Solução leve de madeira	Cobertura em terraço - solução pesada	90
99	4082	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,40	32	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução leve	90
100	4086	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	72	Cinzento-escuro	Solução pesada	Cobertura em terraço - solução pesada	270
101	4304	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,50	54	Branco	Solução pesada	Cobertura não acessível - solução pesada	0
102	4236	Parede em contacto com o exterior com U=0,50	Cobertura exterior em terraço com U=0,20	20	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	0
103	4016	Parede em contacto com o exterior com U=0,25	Cobertura exterior não acessível com U=0,20	20	Cinzento-escuro	Solução leve de madeira	Cobertura não acessível - solução pesada	90

3999
3999
3999

5.4.3. APRECIÇÃO DOS RESULTADOS

Antes de avaliar os melhores e piores cenários de combinações, facilmente se percebe o impacto de associar as variáveis. Quer isto dizer que, pelo processo de simulação apenas se pretende avaliar o desempenho individual de cada parâmetro e, por isso, as melhorias obtidas no valor absoluto do consumo energético face a moradia de referência são menos significativas. Ao combinar um conjunto de variáveis, com conhecimento prévio do seu potencial, os resultados são bem mais impactantes, já que pela Tabela 13 todas as combinações do processo de otimização induzem reduções de, aproximadamente, 50% ao consumo inicial da moradia de referência, de 8027 kWh/ano. Pelo que quantas mais variáveis forem otimizadas, melhores serão os resultados em termos de energia. Deste modo, a otimização permite obter sensibilidade suficiente para investigar sobre os efeitos energéticos das decisões de projeto.

Pela observação dos piores cenários (1, 11, 17 e 101), com consumos anuais de 4304 kWh, distingue-se quais as variáveis que em conjunto resultam em combinações com pior desempenho. Estes cenários têm em comum a fachada principal voltada a Este (orientação do local 0°) e o tipo de construção da estrutura vertical é pesado. Anteriormente, a análise individual de cada parâmetro revela que estes parâmetros têm tendência a piorar o consumo final. Por isso, devem ser soluções a evitar no dimensionamento da moradia objeto de estudo. Em oposição, os melhores cenários (9, 22, 49, 50, 51 e 66), igualmente com consumos anuais de 3999 kWh, revelam quais as variáveis que em conjunto potenciam o desempenho do edifício, com destaque para os resultados benéficos aquando da combinação de soluções leves em madeira e fachada principal orientada a Norte (270°). Conclui-se que qualquer uma das combinações destacadas a cor verde na Tabela 13 correspondem aos cenários ótimos e, por isso, com melhores desempenhos energéticos e, consequentemente, melhorias mais sustentáveis e eficientes.

Posto isto, facilmente se percebe a utilidade de um processo de otimização e o seu potencial de aplicação nos projetos de engenharia, uma vez que corresponde a um conjunto de iterações que, autonomamente, encontra as melhores combinações das variáveis que se pretende analisar. Assim, após analisar individualmente cada parâmetro por meio de simulações, a otimização é um método complementar que auxilia a tomada de decisões, com vista a nomear a solução ótima.

5.5. NOTAS FINAIS

Os resultados da moradia de referência revelam consumos energéticos bastante razoáveis. Esta constatação é consequência da fase de desenvolvimento do projeto que serve de base ao presente caso de estudo. Isto é, como o projeto se encontra numa fase posterior ao programa base de arquitetura, o conjunto de soluções iniciais já foi previamente dimensionado e otimizado, o que teve influência na obtenção de um consumo energético inicial favorável. Contudo, procedeu-se à simplificação destas soluções para que a análise se aproximasse o mais possível da fase embrionária do projeto.

Após a exposição e discussão dos resultados, é perceptível a importância de incluir medidas passivas para otimizar os consumos energéticos. A forma como cada parâmetro influencia os resultados é dependente do local de implantação, das condições climáticas e da geometria da moradia em estudo. A singularidade de cada projeto obriga à aplicação do processo de simulação energética a cada edifício, para analisar em cada caso as soluções arquitetónicas mais sustentáveis e eficientes. Os resultados dizem respeito à moradia que serve de referência ao presente estudo, podendo ser igualmente replicados às restantes moradias do aldeamento turístico que se pretende analisar.

A compreensão preliminar das cargas térmicas para aquecimento e arrefecimento sublinha a importância de conhecer as necessidades energéticas para reduzir a utilização de energia. Isto é, reduzir o consumo

anual de energia final a partir da minimização das necessidades energéticas, sem modificar as condições de conforto dos ocupantes. Por isso, quanto menor a potência necessária aos equipamentos de climatização, menor será a energia consumida, com óbvias vantagens ambientais. Do lado da economia, as melhorias passivas também refletem benefícios para o cliente, que se traduzem em reduções da fatura mensal de energia. Conclui-se que a presente análise técnica está em concordância com os objetivos da sustentabilidade, motivando o equilíbrio das três vertentes.

Os resultados expostos permitem comprovar a veracidade das prioridades de projeto para redução do consumo de energia anteriormente explicadas, pela Fig. 13. Em qualquer projeto a metodologia de análise deve respeitar a hierarquia de estratégias. Por isso, o presente caso de estudo prioriza as melhorias passivas para reduzir os consumos energéticos. Tendo-se observado melhores resultados apenas com a ponderação e simulação de soluções do programa base de arquitetura.

6

CONCLUSÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No setor da construção, verifica-se um desfasamento entre as três dimensões da sustentabilidade: social, económica e ambiental. Os projetos de edifícios tendem a priorizar a vertente económica em detrimento da qualidade e preservação do meio ambiente. Pelo que, torna-se imperativo a procura de um equilíbrio que respeite, em perfeita harmonia, o ambiente e as necessidades das gerações presentes, mas também futuras.

Pelo estudo realizado, comprova-se a oportunidade em melhorar os consumos energéticos dos edifícios. Integrar os esforços de todos os intervenientes da equipa de projeto revela-se uma medida importante para suprimir a ideia pré-concebida de que o trabalho dos engenheiros surge numa fase posterior às soluções arquitetónicas.

Para minimizar as necessidades energéticas dos edifícios, discutiu-se um conjunto de melhorias passivas com potencial para reduzir o consumo de energia, sem descuidar o conforto dos ocupantes. Deste modo, o papel dos projetistas é fundamental para limitar o investimento em equipamentos de climatização e, consequentemente, diminuir a fatura de energia que os clientes pagam todos os meses por utilizarem os edifícios. A demanda inspira confiança aos profissionais do setor da construção para melhorarem o desempenho dos edifícios, através de soluções construtivas que permitam alvejar a máxima eficiência energética. Claro está que o interesse incita validação, isto é, para confirmar as expectativas é necessário obter resultados fidedignos. E é assim que a simulação energética se destaca. Na presente dissertação, recorreu-se ao *software* de modelação e simulação, *DesignBuilder*, com o desígnio de obter os consumos anuais de energia final para cada cenário simulado e comparar o proveito de cada estratégia passiva para melhorar o desempenho do caso de estudo. A partir da análise e interpretação dos resultados obtidos pela simulação, é possível determinar, na fase do programa base, as melhores técnicas passivas.

6.2. CONSIDERAÇÕES FOCADAS NOS RESULTADOS

Antes de mais, é necessário referir que as conclusões fundamentadas nos resultados são válidas para a realidade do caso objeto de estudo, podendo ser apenas extrapoladas para cenários com características geográficas semelhantes do corrente. O importante é perceber que incluir a simulação energética logo no início do projeto, é vantajoso, pois permite antecipar os problemas e tomar decisões conscientes.

Os resultados obtidos dizem respeito a melhorias passivas analisadas pelos seguintes parâmetros: a orientação, o fator de forma, as envolventes opacas e envidraçadas, elementos de sombreamento, inércia térmica e cor do exterior.

Pelos resultados expostos, conclui-se que:

- A orientação dos edifícios tem uma influência significativa no aproveitamento da radiação solar e, consequentemente, na maior ou menor necessidade de climatizar o ambiente interior;
- Para um clima característico do Algarve, a incidência solar tem maior potencial para aquecer naturalmente os edifícios, face a regiões mais a norte do país. Por isso, fachadas com vãos envidraçados orientados a Sul ou Oeste estão sujeitos a uma maior exposição do sol, durante um período de tempo diário superior;
- Para garantir uma temperatura de conforto interior, revela-se importante considerar elementos de sombreamento, como palas horizontais, com capacidade de equilibrar o aquecimento natural e o conforto dos ocupantes;
- Os resultados das simulações, também permitem concluir que as palas orientadas a Poente devem ter uma extensão suficientemente grande para provocarem o efeito de sombra;
- O conjunto das condições de vizinhança é um fator a ter em atenção logo no início do projeto, uma vez que determina o nível de trocas térmicas entre o interior do edifício e o meio exterior;
- Para minimizar o fluxo de calor, deve-se tirar partido dos benefícios do isolamento térmico das paredes exteriores, sendo o seu dimensionamento fundamental para conseguir o melhor desempenho do edifício, a um custo razoável;
- Admitindo que há sempre um equipamento ativo de climatização, a inércia térmica parece que conduz a menores necessidades;
- A capacidade que cada cor tem em refletir ou absorver o calor deve ser conjugada com a tendência meteorológica das condições de implantação.

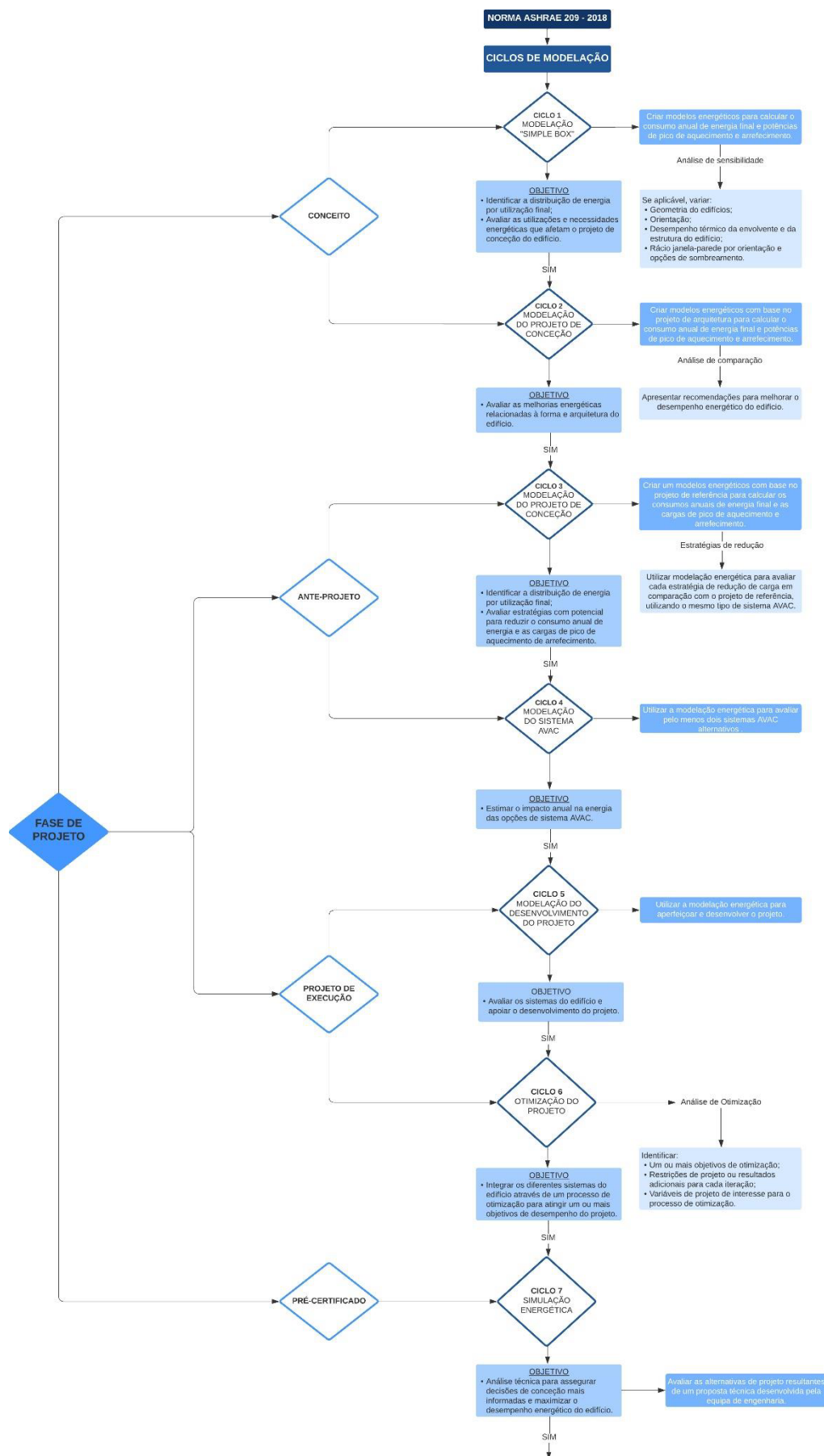
Apesar de os resultados das simulações parecerem pouco significativos quanto às melhorias no valor absoluto do consumo da moradia em estudo, é importante refletir nas capacidades de uma análise técnica ao programa base de arquitetura, à escala global. As melhorias obtidas para a moradia de referência podem parecer superficiais, mas estando esta inserida num aldeamento turístico com 84 moradias, as conclusões serão igualmente aplicadas aos restantes edifícios, pelo que o impacto da simulação energética será replicado e as consequentes melhorias serão reproduzidas a todo o aldeamento. Além disso, se o presente caso de estudo servir de exemplo a futuros projetos de construção nova, que incluam análise técnica logo na fase do programa base, as reduções de consumos energéticos irão induzir melhorias a uma escala superior, motivando a sustentabilidade das edificações. Se, por consequência, a simulação energética inicial integrar todos os projetos, até os que dizem respeito a edifícios pré-existent, o contributo do setor da construção terá repercussões em todo o ecossistema, sendo o consumo atual do setor de 32,9% da energia total consumida em Portugal reduzido à medida que a simulação energética integra a globalidade dos projetos. Para além disso, o estudo comercial do setor indica que a simulação energética dos edifícios não é um processo que integra os projetos atuais e, sendo este processo de análise uma novidade em desenvolvimento, quaisquer que sejam os seus impactos económicos, sociais e ambientais terão sempre um impacto positivo e revelador. Prever quais os consumos energéticos de um edifício é uma análise técnica cujas conclusões trazem sempre mais conhecimento ao projeto, enriquecendo a veracidade das conclusões.

Por fim, a simulação energética de edifícios é uma análise técnica importante e que se deve incluir no programa base dos projetos de arquitetura, uma vez que permite conhecer com detalhe as características dos edifícios e concluir quais as melhores soluções construtivas a aplicar em cada caso de estudo. Minimizar as necessidades energéticas dos edifícios é um trabalho com efeito na redução do consumo de energia final, o que contribui para o equilíbrio das necessidades futuras e preservação da vertente ambiental da sustentabilidade. Tendo por base estudos de referência, tal como os resultados da presente dissertação, cujas conclusões constituem um guia para auxiliar projetos futuros.

6.3. ENQUADRAMENTO DO ESTUDO ENERGÉTICO NO CICLO DE VIDA DA OBRA

A simulação energética analisada acontece numa fase prévia ao desenvolvimento do projeto, nomeadamente, na fase do programa base de arquitetura, na qual apenas se está a estudar possíveis cenários e a avaliar os respetivos desempenhos, por comparação com um cenário de referência. De acordo com a Norma ASHRAE 209-2018, a simulação energética de edifícios é uma análise computacional que deve acompanhar todas as fases do processo de um projeto. Por isso, esta Norma define requisitos gerais, que representam uma abordagem de melhores práticas de modelação, associados a onze ciclos de modelação. Sendo que sete dos ciclos correspondem à fase de projeto, três coincidem com a fase de construção e um ciclo de modelação ocorre durante a fase de funcionamento do edifício, conforme esquematizado na Fig. 37 [68].

De acordo com o processo de modelação, o conhecimento energético inicial corresponde a uma estimativa dos consumos de energia final de cada cenário, que combinado com a otimização, facilita a determinação da melhor solução de projeto. Pela metodologia apresentada na Fig. 37, pretende-se demonstrar a continuidade do trabalho de simulação energética de um edifício. Assim, após concluída a primeira análise dos consumos de energia, durante a fase de conceito e desenvolvimento do projeto, segue-se a avaliação de desempenho energético do edifício conforme projetado, que se aplica às fases de construção e utilização. Para aperfeiçoamento do projeto, podem ser analisadas outras variáveis, que surgem numa fase mais avançada do projeto, como a seleção dos sistemas de climatização, elementos de iluminação, ajustes de temperaturas de conforto, entre outras. Assim, comprova-se que a simulação energética é transversal a todas as fases, e o valor que acrescenta ao projeto é superior numa fase a montante do processo de decisão, tal como representado pela Fig. 19.



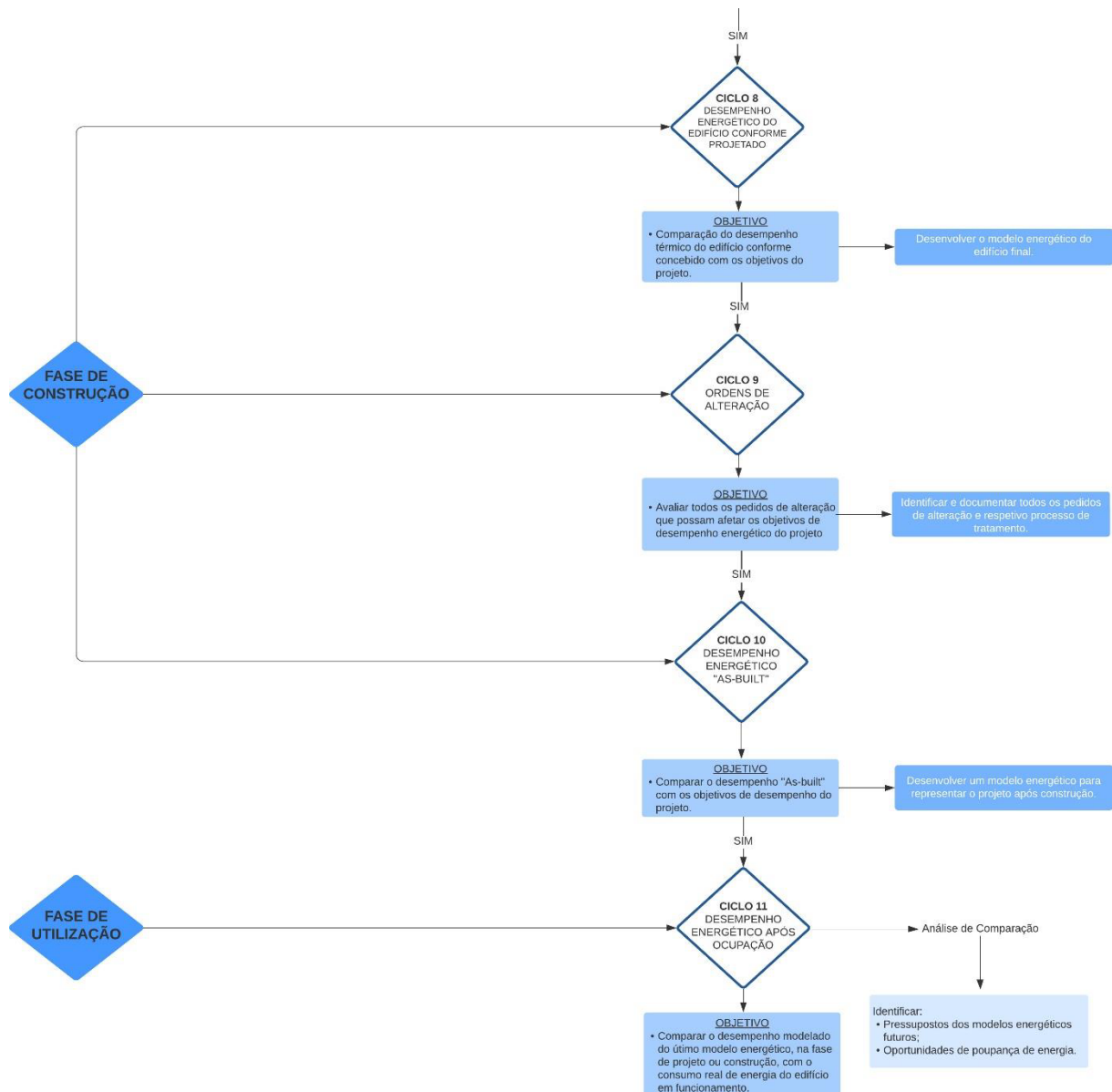


Fig. 37 - Processo de modelação descrito pela Norma ASHRAE 209-2018, adaptado de [68].

6.4. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Sendo crescente o interesse no domínio da sustentabilidade e eficiência energética dos edifícios e tendência desenfreada a evolução dos sistemas informáticos de simulação de edifícios, é de esperar a atualização de novas versões dos programas mais usados e/ou o aparecimento de *softwares* mais complexos, que minimizem as discrepâncias que possam existir entre a simulação e a realidade.

Portanto, uma análise futura interessante seria a simulação das mesmas condições e parâmetros do projeto analisado, recorrendo a outro *software*, com sugestão para o *Cove.tool*, de modo a comparar-se os resultados entre as duas ferramentas computacionais e concluir qual das duas produz resultados mais aproximados à realidade. Demonstra-se interesse para analisar os mesmos parâmetros sujeitos a diferentes condições de implantação, fazendo variar o contexto local, com vista a avaliar as consequências climáticas no desempenho de cada medida passiva. Para além disso, pretendeu-se

demonstrar, pelos resultados expostos, o potencial do aproveitamento da luz natural na minimização do consumo energético. Por isso, outra análise com interesse passa por incluir no conjunto de estratégias passivas a redução da utilização de energia elétrica.

Sendo o presente estudo, uma análise de soluções com vista à redução das necessidades de energia, atuando ao nível de medidas passivas, outro desenvolvimento futuro conveniente seria a simulação de técnicas não passivas, nomeadamente, a incorporação de sistemas devidamente atualizados e eficientes, bem como a inclusão de sistemas ativos com integração da produção local de energias renováveis, para possível quantificação das poupanças energéticas e financeiras.

Por fim, desafia-se os intervenientes responsáveis pelas atualizações regulamentares a refletirem sobre os benefícios de referenciarem e nomearem a oportunidade de incluir o trabalho técnico dos engenheiros no programa base e reforçar a necessidade de laborarem em conjunto com os projetistas de arquitetura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. D. Pinheiro, *Ambiente e Construção Sustentável*. Instituto do Ambiente, Amadora, 2006.
- [2] World Population Growth - Our World in Data. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>. (acedido a 24 de fevereiro de 2023).
- [3] M. M. Almeida. *Simulação Térmica de Edifícios com um Modelo Numérico de Capacidade Térmica Variável*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1994.
- [4] H. Sousa, R. Sousa e F. Sousa. *Soluções de Paredes Eficientes em Alvenaria*, Porto, 2014.
- [5] Empresa | SOPSEC. <https://sopsec.pt/empresa/>. (acedido a 23 de fevereiro de 2023).
- [6] M. Gomes e L. J. Ferreira. *Políticas Públicas e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*. Direito e Desenvolvimento, 01/10/2018, vol. 9, n. 2, pp. 3–18.
- [7] Nacional de Energia e Clima (PNEC) - apambiente.pt. <https://www.apambiente.pt/clima/plano-nacional-de-energia-e-clima-pnec>. (acedido a 24 de fevereiro de 2023).
- [8] A. A. Pereira. *Desempenho Energético*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.
- [9] F. Torgal e S. Jalali. *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho, vol. 2, 2010.
- [10] A. L. Teixeira. *Operacionalização de Princípios de Sustentabilidade nas Práticas de Projeto*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [11] LiderA – Sistema de avaliação da sustentabilidade. <http://www.lidera.info/>. (acedido a 28 de fevereiro de 2023).
- [12] Home | LEED Lookbook. <https://leed.usgbc.org/>. (acedido a 28 de fevereiro de 2023).
- [13] LEED rating system | U.S. Green Building Council. <https://www.usgbc.org/leed>. (acedido a 28 de fevereiro de 2023).
- [14] U.S. Green Building Council, *LEED v4.1 - Building Design and Construction*, 2021.
- [15] Agenda 2030 - Global Compact. <https://globalcompact.pt/index.php/pt/agenda-2030>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [16] ODS | GT Agenda 2030." <https://gtagenda2030.org.br/ods/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [17] Home - World Green Building Council. <https://worldgbc.org/>. (acedido a 21 de fevereiro de 2023).
- [18] Green building: Improving the lives of billions by helping to achieve the UN Sustainable Development Goals. <https://worldgbc.org/article/green-building-improving-the-lives-of-billions-by-helping-to-achieve-the-un-sustainable-development-goals/>. (acedido a 21 de fevereiro de 2023).
- [19] Objetivo 3: Saúde de qualidade - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-3-saude-de-qualidade-2/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [20] Objetivo 7: Energias renováveis e acessíveis - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-7-energias-renovaveis-e-acessiveis/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).

- [21] Objetivo 8: Trabalho digno e crescimento económico - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-8-trabalho-digno-e-crescimento-economico/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [22] Objetivo 9: Indústria, inovação e infraestruturas - Nações Unidas – ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-9-industria-inovacao-e-infraestruturas-2/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [23] Objetivo 11: Cidades e comunidades sustentáveis - Nações Unidas – ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-11-cidades-e-comunidades-sustentaveis-2/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [24] Objetivo 12: Produção e Consumo Sustentáveis - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-12-producao-e-consumo-sustentaveis/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [25] Objetivo 13: Ação Climática - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-13-acao-climatica/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [26] Objetivo 15: Proteger a Vida Terrestre - Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-15-proteger-a-vida-terrestre/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [27] Objetivo 17: Parcerias para a Implementação dos Objetivos – Nações Unidas - ONU Portugal. <https://unric.org/pt/objetivo-17-parcerias-para-a-implementacao-dos-objetivos/>. (acedido a 22 de fevereiro de 2023).
- [28] H. Lee *et al.* *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)*, 2023.
- [29] Diário da República, 1ª série. *Decreto-Lei n.º 101-D/2020*, 7/12/2020.
- [30] Eficiência Energética - DGEG. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/>. (acedido a 23 de fevereiro de 2023).
- [31] Energia em Números | Observatório da Energia. <https://www.observatoriodaenergia.pt/pt/energia-em-numeros>. (acedido a 2 de março de 2023).
- [32] Energy Management. <https://slideplayer.com.br/slide/4087483/>. (acedido 3 de Março de 2023).
- [33] Energy Efficiency Trends & Policies | ODYSSEE-MURE. <https://www.odyssee-mure.eu/>. (acedido a 15 de fevereiro de 2023).
- [34] ADENE. *Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios*. Direção-Geral de Energia e Geologia.
- [35] Diretiva da Eficiência Energética - DGEG. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/diretiva-da-eficiencia-energetica/>. (acedido a 4 de março de 2023).
- [36] Diário da República, 1ª série. *Decreto-Lei n.º 102/2021*, 19/09/2021.
- [37] Edifícios - ADENE. <https://www.adene.pt/edificios/>. (acedido a 2 de março de 2023).
- [38] ADENE. *Guia de Utilização do Certificado Energético*.
- [39] L. M. Saraiva. *Simulação Dinâmica de um Edifício de Acordo com as Exigências do DL 79-2006 RSECE, usando o software de cálculo EnergyPlus*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

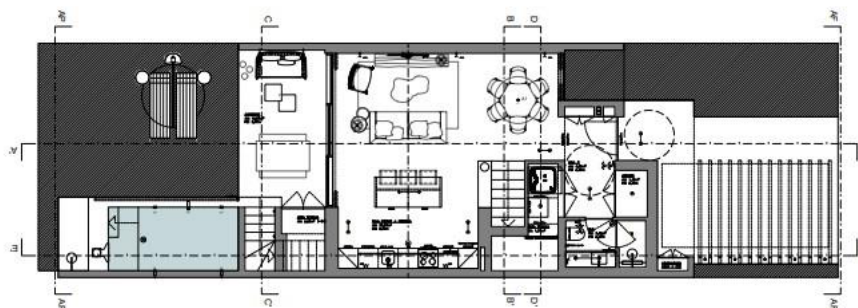
- [40] S. Attia, L. Beltrán, A. De Herde e J. Hensen. “*Architect Friendly*”: A Comparisson of Ten Different Building Performance Simulation Tools. Eleventh International IBPSA Conference. 27 de julho de 2009, Glasgow, pp. 204-211.
- [41] Enercom, Energia e Segurança, Sistemas UPS, SGCIE, RECS, ATEX, CCTV. <https://www.enercom.pt/>. (acedido a 14 de março de 2023).
- [42] D. J. Mateus. *Análise da Influência da Inércia Térmica no Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- [43] ASHRAE Publishes Energy Simulation-Aided Design Standard. <https://www.ashrae.org/about/news/2018/ashrae-publishes-energy-simulation-aided-design-standard>. (acedido a 20 de março de 2023).
- [44] ASHRAE Technology Portal. <https://www.ashrae.org/technical-resources/technology-portal>. (acedido a 22 de março de 2023).
- [45] E. Kolderup. *ASHRAE Standard 209*. Kolderup Consulting, 17/10/2018.
- [46] ISO 13790:2008 - Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling. <https://www.iso.org/standard/41974.html>. (acedido a 27 de março de 2023).
- [47] ISO 13790:2007(E). Energy Performance of Buildings - Calculation of Energy Use for Space Heating and Cooling, 29/05/2007.
- [48] ASHRAE 140-2020 - Techstreet. https://www.techstreet.com/standards/ashrae-140-2020?product_id=2219471. (acedido a 20 de março de 2023).
- [49] EnergyPlus. <https://energyplus.net/>. (acedido a 21 de março de 2023).
- [50] *EnergyPlusTM Version 22.1.0 Documentation Engineering Reference*. U.S. Department of Energy, 29/03/2022.
- [51] P. D. Ribeiro. *Análise de Programas de Cálculo de Consumo de Energia em Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [52] SketchUp - Sefaira. <https://www.sketchup.com/pt-BR/products/sefaira>. (acedido a 21 de Março de 2023).
- [53] cove.tools | Sustainable Building Design | Energy Modeling Software. <https://cove.tools/>. (acedido a 21 de março de 2023).
- [54] DesignBuilder Software Ltd - Product Overview. <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>. (acedido a 22 de março de 2023).
- [55] DesignBuilder — NaturalWorks. <http://www.natural-works.com/designbuilder/>. (acedido a 22 de março de 2023).
- [56] DesignBuilder Help. <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/index.htm>. (acedido a 20 de março de 2023).
- [57] Diário da República, 1ª série. *Portaria n.º 138-I/2021*, 01/07/2021.
- [58] Component Block - DesignBuilder. https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Component_Block.htm. (acedido a 12 de maio de 2023).

- [59] A. Athienitis e W. O'Brien, *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*. John Wiley & Sons, 2015.
- [60] C. S. Coelho. *Avaliação da vida útil de tintas para exteriores através da inspeção de edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto, 2015.
- [61] Tinta para exterior - Robbialac. <https://tintasrobbialac.pt/dicas/questoes-frequentes2/pintura-fachadas/que-tinta-de-exteriores-escolher-para-a-pintura-da-fachada>. (acedido a 16 de maio de 2023).
- [62] Heating design simulation - DesignBuilder Software Ltd. https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Heating_design_simulation.htm. (acedido a 17 de maio de 2023).
- [63] «DesignBuilder Help - Cooling design simulation». https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Cooling_design_simulation.htm. (acedido a 17 de maio de 2023).
- [64] «DesignBuilder Help - Simulation Using Hourly Weather Data. https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Simulation_using_real_weather_data.htm (acedido a 17 de maio de 2023).
- [65] Preço kWh EDP. <https://lojaluz.com/fornecedores/edp/tarifas/preco-kwh>. (acedido a 17 de maio de 2023).
- [66] A. Mactavish. *LETI - Climate Emergency Design Guide*, 2020
- [67] DesignBuilder – Optimisation. <https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/Optimisation.htm>. (acedido a 17 de maio de 2023).
- [68] ASHRAE. *ASHRAE 2019-2018: Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*, 02/04/2018.

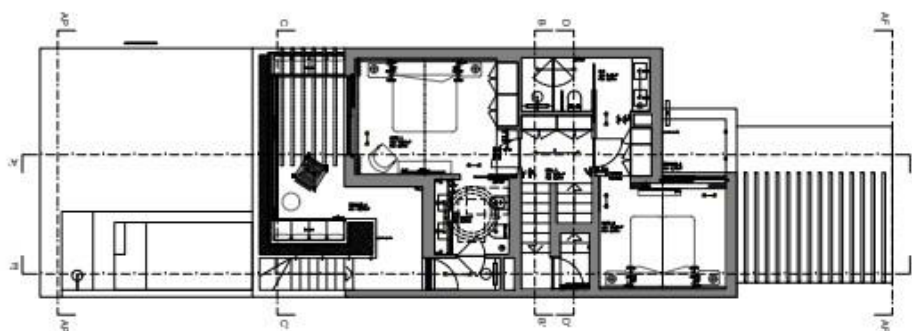
ANEXOS

ANEXO 1 – Plantas da moradia de tipologia V2

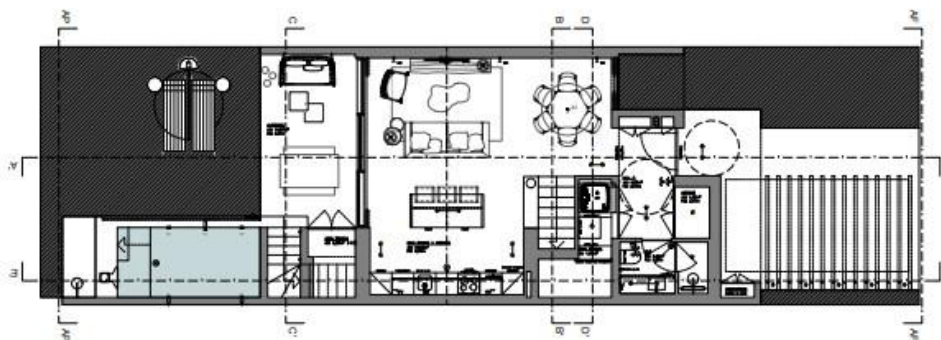
ANEXO 1.1. – Plantas da cobertura



ANEXO 1.2. – Plantas do piso 1

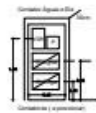
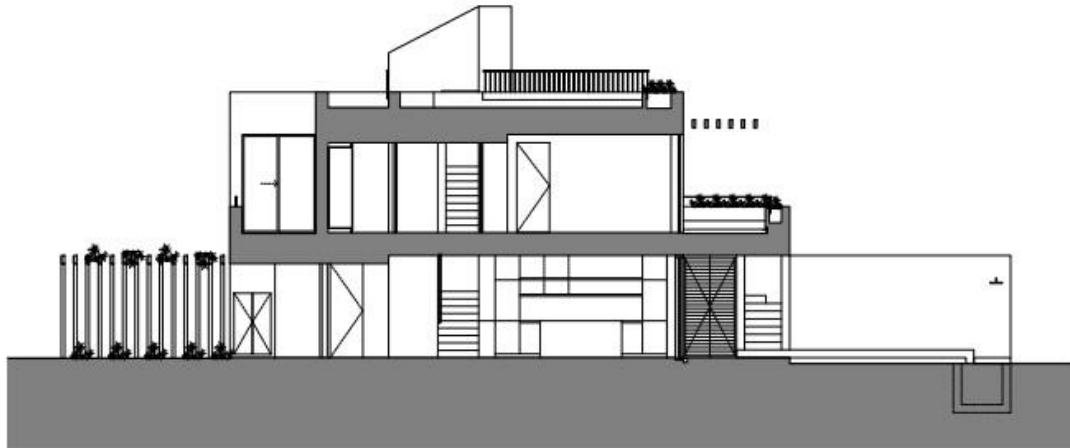


ANEXO 1.3. – Plantas do piso 1

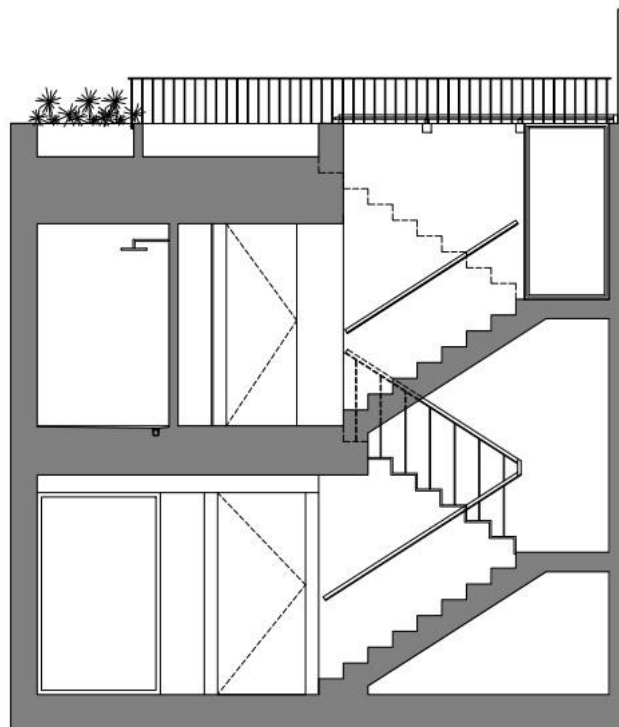


ANEXO 2 – Cortes da moradia de tipologia V2

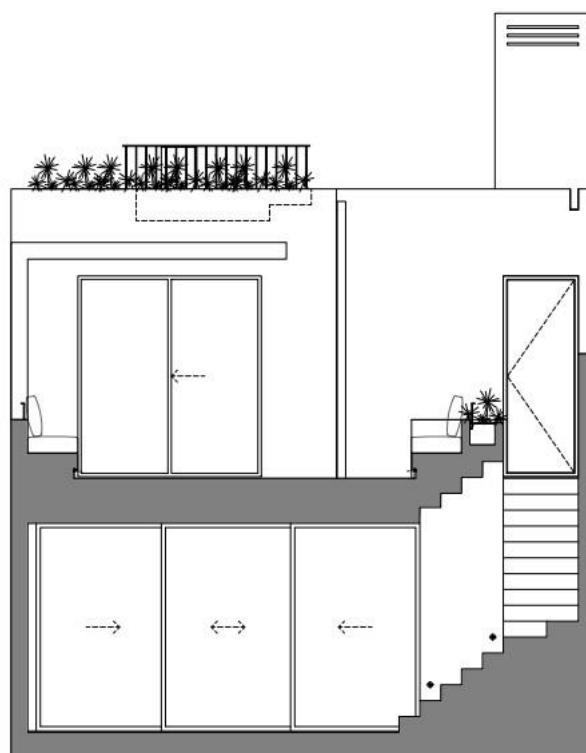
ANEXO 2.1. – Corte A-A'



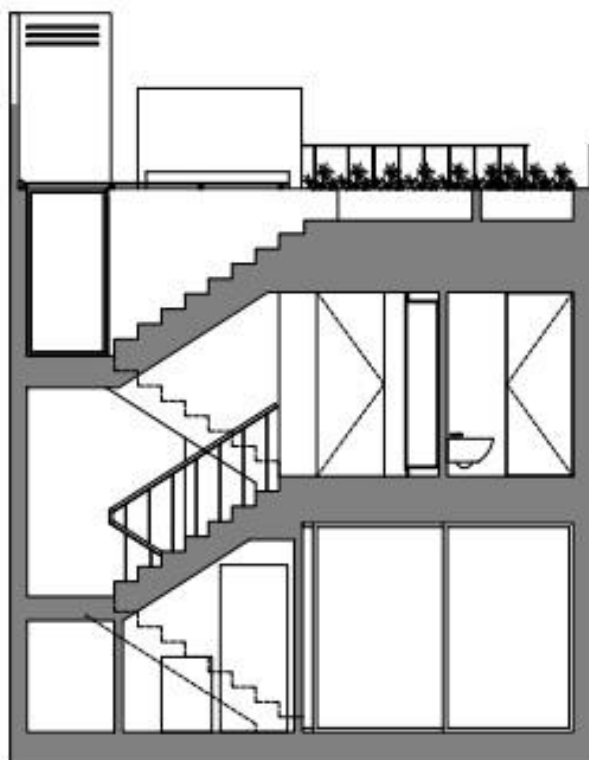
ANEXO 2.2. – Corte B-B'



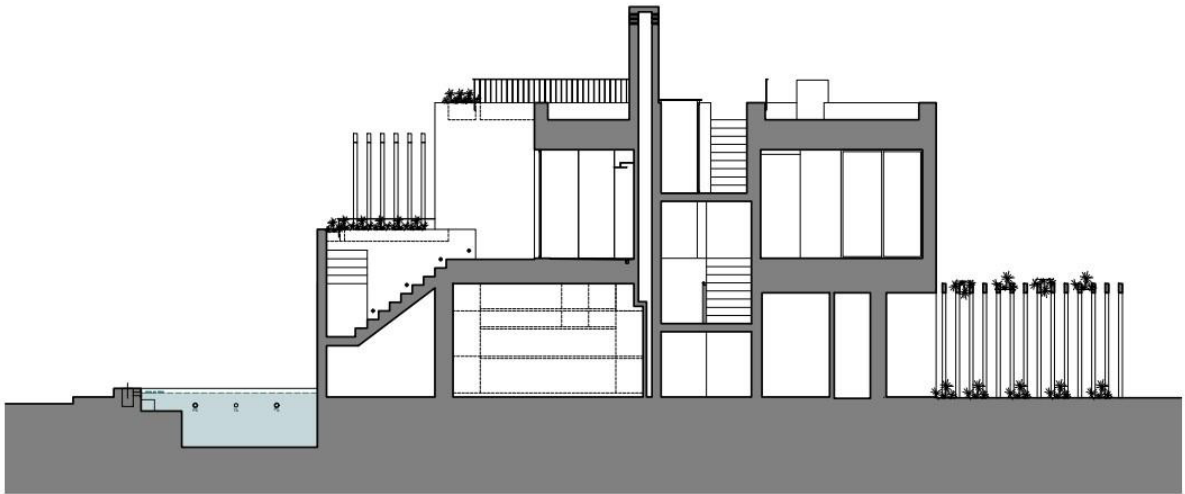
ANEXO 2.3. – Corte C-C'



ANEXO 2.4. – Corte D-D'

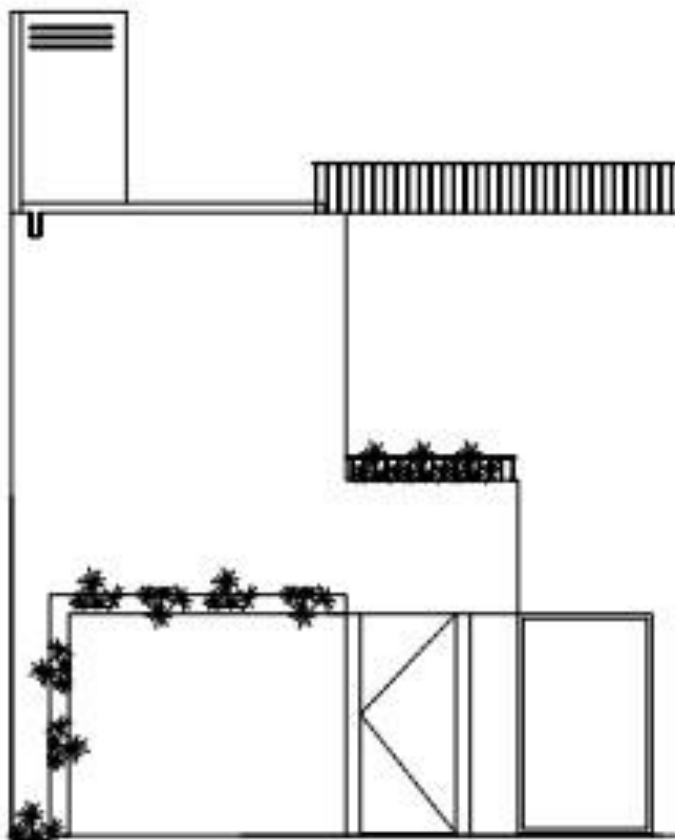


ANEXO 2.5. – Corte E-E'

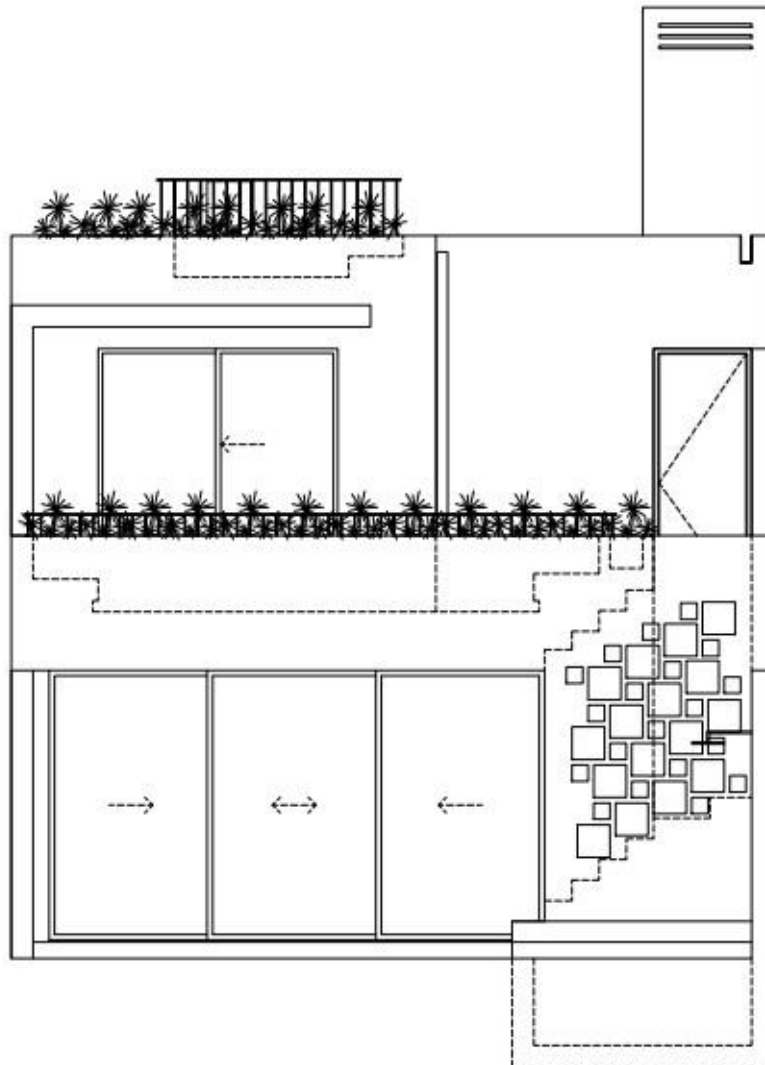


ANEXO 3 – Alçados da moradia de tipologia V2

ANEXO 3.1. – Alçado Frontal AF-AP



ANEXO 3.2. – Alçado Posterior AP-AP'



ANEXO 4 – Áreas e respetivo Pé-direito

Área total de pavimento [m²]		95.57
Área útil de pavimento [m ²]		95.57
Área não útil de pavimento [m ²]		0.00
Pé-direito médio total [m]		2.40
Piso	Local	Área [m ²]
0	Open Space	52.88
	Instalação Sanitária	3.46
	Zona Técnica	3.99
1	Suite 1	15.06
	Instalação Sanitária 1	7.22
	Hall	5.73
	Suite 2	10.34
	Instalação Sanitária 2	8.46

ANEXO 5 – Características dos materiais das soluções construtivas da envolvente da moradia de referência

	D _i (m)	λ (W/m.°C)	R _j (m².°C/W)	Massa Volúmica (kg/m³)
1. ENVOLVENTE OPACA				
1.1. PAREDE				
Parede em contacto com o exterior – cor: branca				
Argamassas e rebocos tradicionais	0,020	1,30	0,02	1900
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,051	0,04	1,28	17,50
Tijolo cerâmico furado (normal)	0,200	-	0,52	-
Argamassas e rebocos tradicionais	0,020	1,30	0,02	1900
R _{si}			0,13	
R _{se}			0,04	
R (m². °C/W)			2,00	
Coeficiente de Transmissão Térmica, U (W/m². °C)	Solução		0,50	VERIFICA
	Máximo		0,50	
1.2. COBERTURAS				
Cobertura exterior em terraço				
Cerâmica vidrada/grés cerâmico	0,015	1,30	0,01	2300
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,090	0,04	2,25	17,50
Betão normal	0,125	1,65	0,08	2150
Betão armado de inertes correntes (armadura > 2%)	0,200	2,50	0,08	2400
R _{si}			0,10	
R _{se}			0,04	
R (m². °C/W)			2,56	
	Solução		0,39	VERIFICA

Coeficiente de Transmissão Térmica, Máximo U (W/m². °C)	0,40	
--	------	--

Cobertura exterior não acessível				
Seixo rolado	0,050	2,00	0,03	1950
Betão leve pré-misturado (leca)	0,150	1,65	0,09	2300
Poliestireno expandido moldado (EPS)	0,078	0,04	1,96	17,50
Betão armado de inertes correntes (armadura > 2%)	0,200	2,5	0,08	2400
Caixa de ar	0,250	-	0,16	0
Placas de gesso cartonado	0,013	0,25	0,05	875
Rsi			0,10	
Rse			0,04	
R (m². °C/W)			2,50	
Coeficiente de Transmissão Térmica, U (W/m². °C)	Solução	0,40	VERIFICA	
	Máximo	0,40		

2. ENVOLVENTE ENVIDRAÇADA			
Vãos envidraçados exteriores			
Coeficiente de Transmissão Térmica, U (W/m². °C)	Solução	2,80	VERIFICA
	Máximo	2,80	
Claraboias			
Coeficiente de Transmissão Térmica, U (W/m². °C)	Solução	2,80	VERIFICA
	Máximo	2,80	

ANEXO 6 – Perfis e densidade de ocupação para a moradia de referência

Horas	Perfil ocupação [%]	Perfil iluminação [%]	Perfil equipamentos [%]
0h – 1h	1	1	1
1h – 2h	1	1	1
2h – 3h	1	1	1
3h – 4h	1	1	1
4h – 5h	1	1	1
5h- 6h	1	1	1
6h – 7h	1	0,05	1
7h – 8h	1	0,05	1
8h – 9h	1	0,05	1
9h – 10h	1	1	0
10h – 11h	0,2	1	0
11h – 12h	0,2	0,5	1
12h – 13h	0,2	0,5	1
13h – 14h	0,2	0,5	1
14h – 15h	0,2	0,5	1
15h – 16h	0,2	0,5	1
16h – 17h	0,2	0,5	1
17h – 18h	0,1	0	0
18h – 19h	0,1	0	0
19h – 20h	0,5	1	0
20h – 21h	0,5	1	1
21h- 22h	0,5	1	1
22h – 23h	0,5	0,05	0
23h – 24h	0,5	0,05	0

