



MARIA AMÉLIA
ROSA MIGUEL
FRANCISCO

**ANÁLISE ENERGÉTICA DE UMA
HABITACÃO DE CONSTRUÇÃO
ALTERNATIVA
COMPARAÇÃO ENTRE SCE E O
PHPP**

Relatório de Projeto do Mestrado em
Engenharia e Gestão de Energia da Indústria e
Edifícios

ORIENTADOR

Prof. Doutor: Paulo Miguel Marques Fontes

dezembro 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus filhos, pelo amor, paciência e compreensão ao longo de todo este percurso académico. Foram a minha maior força nos momentos mais difíceis e a razão principal para não desistir.

Agradecimentos

À minha família, pelo apoio incondicional, compreensão e incentivo constante ao longo deste percurso.

Ao meu orientador, pela disponibilidade, acompanhamento e orientação técnica fundamentais para a concretização deste trabalho.

Aos meus amigos, que, mesmo “chatos”, nunca deixaram de me incentivar e de acreditar que eu iria conseguir chegar até aqui.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o desempenho energético de um edifício habitacional construído com recurso a contentores marítimos, através da aplicação de dois métodos distintos: o **Sistema de Certificação Energética (SCE)**, enquadrado na legislação nacional portuguesa, e o método internacional **PHPP (Passive House Planning Package)**.

O estudo baseia-se num caso de estudo real, localizado em Santiago do Cacém, com caracterização detalhada da geometria, envolvente térmica, sistemas de climatização, ventilação, produção de águas quentes sanitárias e produção fotovoltaica. Foi desenvolvida uma folha de cálculo própria que permitiu determinar balanços térmicos mensais, necessidades de aquecimento e arrefecimento, energia primária e classe energética pelo SCE, bem como a verificação dos principais critérios do padrão Passive House.

Os resultados obtidos demonstram que o edifício apresenta um desempenho energético satisfatório, atingindo a classe energética B- no SCE e cumprindo os requisitos fundamentais do método PHPP. A análise comparativa evidencia diferenças metodológicas relevantes entre os dois sistemas, mas confirma a viabilidade energética da solução construtiva adotada.

Palavras-chave: Eficiência energética, SCE, PHPP, contentores marítimos, desempenho energético.

Abstract

The present work aims to evaluate and compare the energy performance of a residential building constructed using maritime containers, through the application of two distinct methods: the Energy Certification System (SCE), within the framework of Portuguese national legislation, and the international PHPP method (Passive House Planning Package).

The study is based on a real case study located in Santiago do Cacém, with a detailed characterization of the geometry, thermal envelope, HVAC systems, ventilation, domestic hot water production, and photovoltaic energy production. A dedicated spreadsheet was developed to determine monthly thermal balances, heating and cooling needs, primary energy, and the energy class according to the SCE, as well as to verify the main criteria of the Passive House standard.

The results obtained demonstrate that the building presents a satisfactory energy performance, achieving an energy class B- under the SCE and meeting the fundamental requirements of the PHPP method. The comparative analysis highlights relevant methodological differences between the two systems, while confirming the energy feasibility of the adopted construction solution.

Keywords: Energy efficiency, SCE, PHPP, maritime containers, energy performance.

Índice Geral

Dedicatória.....	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de Anexos	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	x
Siglas / Abreviaturas.....	xi
Simbologia.....	xii
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Enquadramento do Tema / Estado da Arte.....	1
1.2 Objetivos e Justificação do Tema Proposto.....	4
1.3 Organização e Estrutura do Trabalho	5
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica / Estado da Arte.....	7
2.1 Habitação Alternativa e Reutilização de Contentores Marítimos	7
2.2 Metodologias Construtivas e Características Técnicas dos Contentores.....	9
2.3 Regulamentação Energética de Edifícios em Portugal (SCE).....	10
2.4 Standard Passivhaus (PHPP)	11

2.5	Estudos Anteriores Relevantes	12
Capítulo 3 – Metodologia de Cálculo e Desempenho Energético		14
3.1	Descrição da Metodologia Adaptada.....	14
3.2	Indicadores de Desempenho Energético.....	15
3.3	Ferramentas de Cálculo e Simulação	16
3.3.1	Ferramenta SCE.....	16
3.3.2	PHPP – Passivhaus Planning Package	17
3.4	Definição dos Parâmetros de Análise.....	18
3.5	Modelo Híbrido SCE–PHPP	20
Capítulo 4 – Caso de Estudo		22
4.1	Introdução	22
4.2	Tipo de Contentor Escolhido	22
4.3	Descrição da Habitação e Disposição dos Contentores.....	24
4.4	Caracterização dos Espaços e Envolventes	25
4.5	Sistemas Técnicos	26
4.5.1	Climatização (AVAC)	26
4.5.2	Produção de AQS	27
4.5.3	Energias Renováveis.....	27
4.5.4	Ventilação.....	27
4.6	Metodologia de Avaliação Energética — SCE e PHPP	27

4.6.1	Sistema de Certificação Energética (SCE)	27
4.6.2	Standard Passive House (PHPP).....	28
4.6.3	CrITÉrios de Comparação SCE vs PHPP.....	28
4.7	Resultados.....	29
Capítulo 5 - Comparação Metodológica entre o SCE e o PHPP		30
5.7	Resultados segundo o SCE.....	34
5.8	Resultados segundo o PHPP.....	35
Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros.....		40
6.1	Conclusões principais	40
6.2	Limitações do estudo	41
6.3	Propostas para investigação futura	42
Conclusão geral:		42
Referências		44
Índice de Anexos		47
Modelos CADS-HE BP – Soler & Palau.....		114
Outros dados.....		114
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		114

Índice de Anexos

Anexo A - Metodologia de Cálculo SCE	48
Anexo B - Metodologia de Cálculo PHPP	62
Anexo C - Dados Climáticos e Condições de Fronteira (LNEG/IPMA)	72
Anexo D - Tabelas de Apoio e Dados Construtivos (Envolvente e Sistemas).....	79
Anexo E - Peças Desenhadas (Planta, Cortes e Marcação da Envolvente)	85
Anexo F - Folha de Calculo e Resultados Energéticos (SCE E PHPP)	87
Anexo G - Catálogo Bomba de Calor – AQS	112
Anexo H - Catálogo Unidade de Climatização	112
Anexo I - Catálogo Unidade de recuperação.....	112

Índice de Figuras

Figura 1 - Comparação do consumo total de energia primária, entre 2002 e 2022	
Fonte: (2) (4).....	1
Figura 2 - Dependência Energética de Portugal (2000–2022)	
Fonte: (4).....	2
Figura 3 - Irradiação solar global média anual em Portugal continental	
.Fonte: (5).....	3
Figura 4 - Exemplo de habitação modular com contentores marítimos reutilizados - Edifício de construção social em Barcelona Fonte: (6).....	3
Figura 5 - Ciclo de vida de um contentor marítimo no conceito de economia circular.....	8
Figura 6 - Exemplo de moradia modular construída com contentores marítimos reutilizados	
Fonte: (11).....	9
Figura 7 - Estrutura do Sistema de Certificação Energética (SCE) em Portugal Fonte: (12)	10
Figura 8 - Evolução legislativa do desempenho energético dos edifícios em Portugal (2006-2023) Fonte: (12).....	11
Figura 9 - Etapas metodológicas de avaliação aplicadas ao caso de estudo Fonte: Auto	14
Figura 10 - Interação entre parâmetros físicos, térmicos e energéticos do edifício (Fonte: Autora)	16
Figura 11 - Estrutura de cálculo regulamentar SCE Fonte Adptado: (13)	17
Figura 12 - Modelo de contentor marítimo a utilizar no caso prático.....	18
Figura 13 - Localização do edifício em Santiago do Cacém Fonte: Google Maps (2024).....	19
Figura 14 - Contentor marítimo ISO 40'HC utilizado como módulo base Fonte: OLX / Adaptado pelo autor (2024)	23
Figura 15 - Disposição dos contentores marítimos na habitação modular Fonte: Autora 2024	24

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipos e dimensões normalizadas de contentores marítimos (ISO 668)	7
Tabela 2 - Principais indicadores de desempenho energético considerados	15
Tabela 3 - Parâmetros de análise energética considerados no modelo base.....	18
Tabela 4 - Dimensões do contentor ISO 40'HC	23
Tabela 5 - Áreas dos compartimentos da habitação.....	25
Tabela 6 - Características técnicas das envolventes principais Fonte: Autora.....	26
Tabela 7 - Critérios comparativos entre SCE e PHPP Fonte: Autora	28
Tabela 8 - Tabela comparativa dos principais parametros entre SCE e PHPP	31
Tabela 9 - Condições de fronteira entre SCE e PHPP	32
Tabela 10 - Modelação das envolventes.....	33
Tabela 11 - Resultados energéticos segundo o método SCE	34
Tabela 12 - Resultados energéticos segundo o método PHPP	36
Tabela 13 - Tabela dos resultados comparativos entre SCE - PHPP.....	37

Siglas / Abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
AQS	Águas quentes sanitárias
CE	Certificado Energético
CO₂	Dióxido de carbono
CM	Contentor Marítimo
DEE	Desempenho Energético dos Edifícios
GEE	Gases com Efeito de Estufa
ISO	International Organization for Standardization
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PE	Energia primária não renovável
PER	Energia primária renovável
PH	Passivhaus ou Passive House
PHI	Passivhaus Institute
PHPP	Passive House Planning Package
PNEC	Plano Nacional Energia e Clima
PTL	Pontes Térmicas Lineares
PTP	Pontes Térmicas Planas
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE	Sistema Certificação Energética dos Edifícios
UE	União Europeia

Simbologia

A_{env}	Soma das áreas dos vãos envidraçados condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares que servem o espaço (m ²)
A_f	Área do caixilho (m ²)
A_g	Área transparente (m ²)
A_p	Área interior útil de pavimento (m ²)
A_W	Área do vão envidraçado (m ²)
b_{zt}	Coefficiente de redução de perdas
d	Espessura da camada de um material (m)
d_{gb}	Distância entre o vidro e a quadrícula inserida no espaço de ar (mm)
E_{ren}	Energia renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício (kWh/ano)
f_{eh}	Fator de eficiência hídrica
F_f	Fator de sombreamento do elemento opaco vertical
$f_{n,k}$	Parcela das necessidades de energia útil para o uso n supridos sistema k
F_o	Fator de sombreamento do elemento opaco horizontal
F_{pu}	Fator de conversão de energia final para energia primária (kWhEP/kWh)
f_{Rsi}	Fator de temperatura
g	Fator solar
g_{tot}	Fator solar dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção totalmente ativados
$g_{tot,max}$	Fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares
GD	Número de graus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento
H_f	Número de horas anuais de funcionamento do ventilador (h/ano)
I_t	Massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento (kg/m ²)

l_g	Desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho ou perímetro do espaçador (m)
l_{gb}	Desenvolvimento linear da quadricula inserida no espaço de ar (m)
$l_{instalação}$	Perímetro da instalação do vão envidraçado aos elementos de construção adjacentes (m)
M_{AQS}	Consumo médio diário de referência (litros)
n_{50}	Caudal de ar por infiltrações obtido por ensaio de pressurização de acordo com a norma EN ISO 9972 (h^{-1})
N_i	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]
N_t	Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [$kWhEP/(m^2 \cdot ano)$]
N_{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária [$kWhEP/(m^2 \cdot ano)$]
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$]
Q_a	Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS em edifícios de habitação (kWh/ano)
Q_g	Ganhos térmicos brutos (kWh/ano)
Q_{gu}	Ganhos térmicos úteis (kWh/ano)
Q_{int}	Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor (kWh/ano)
Q_{sol}	Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar (kWh/ano)
Q_{tr}	Transferência de calor por transmissão através da envolvente do edifício (kWh/ano)
Q_{ve}	Transferência de calor por ventilação (kWh/ano)
Ren_{Hab}	Indicador de energia primária renovável em edifícios de habitação

R_j	Resistência térmica da camada j [(m ² .K)/W]
R_{NT}	Rácio de classe energética em edifícios de habitação
R_{ph}	Taxa de renovação horária de ar (h ⁻¹)
R_{si}	Resistência térmica superficial unitária interior [(m ² .K)/W]
R_{se}	Resistência térmica superficial unitária exterior [(m ² .K)/W]
R_{total}	Resistência térmica total unitária [(m ² .K)/W]
U	Coefficiente de transmissão térmica [W/(m ² .K)]
U_f	Coefficiente de transmissão térmica do caixilho [W/(m ² .K)]
U_g	Coefficiente de transmissão térmica da área transparente [W/(m ² .K)]
U_{max}	Coefficiente de transmissão térmica superficial máximo [W/(m ² .K)]
U_{ref}	Coefficiente de transmissão térmica de referência [W/(m ² .K)]
U_W	Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado [W/(m ² .K)]
$U_{W,instalado}$	Coefficiente de transmissão térmica máximo do vão envidraçado instalado [W/(m ² .K)]
$U_{W,max}$	Coefficiente de transmissão térmica máximo do vão envidraçado [W/(m ² .K)]
V_f	Caudal de ar médio diário escoado através do ventilador (m ³ /h)
W_{vm}	Consumo de energia elétrica de funcionamento do ventilador (kWh/ano)
α_{it}	Parâmetro que traduz a influência da classe de inércia térmica do edifício
α_{sol}	Absortância solar
δ	Fator de anulação do consumo de energia
ΔP_{tot}	Diferença de pressão total no ventilador (Pa)
ε	Emissividade
θ_e	Temperatura do ar exterior (K)
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio estação de aquecimento (°C)
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média da estação de arrefecimento (°C)
θ_i	Temperatura do ar interior (K)
θ_{op}	Temperatura média do ar interior ou operativa (K)

$\theta_{ref,i}$	Temperatura interior de referência na estação de aquecimento (°C)
$\theta_{ref,v}$	Temperatura interior de referência na estação de arrefecimento (°C)
θ_{si}	Temperatura mínima da superfície interior de um componente (K)
λ	Condutibilidade térmica [W/(m.K)]
χ	Coeficiente de transmissão térmica pontual (W/K)
η	Eficiência do sistema
η_i	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento
η_v	Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.K)]
ψ_g	Coeficiente de transmissão térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho [W/(m.K)]
ψ_{gb}	Coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar [W/(m.K)]
$\psi_{instalação}$	Coeficiente de transmissão térmica linear da ligação dos componentes de construção adjacentes [W/(m.K)]
ψ_{ref}	Coeficiente de transmissão térmica linear de referência [W/(m.K)]

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento do Tema / Estado da Arte

Vivemos numa época de intensa evolução tecnológica, marcada por uma dependência energética significativa de recursos não renováveis, nomeadamente combustíveis fósseis. Estes recursos, ao serem progressivamente esgotados, têm originado preocupações ambientais e económicas de grande escala, especialmente no que respeita à sustentabilidade global do planeta.

Um dos temas mais relevantes da atualidade é, portanto, o desenvolvimento de estratégias e soluções de eficiência energética, que visam reduzir o consumo de energia primária e as emissões de CO₂, promovendo a transição para um modelo mais sustentável.

De acordo com a Comissão Europeia, o setor dos edifícios representa mais de 40% do consumo energético total da União Europeia, sendo responsável por uma parte substancial das emissões de gases com efeito de estufa (1).

Como ilustra a Figura 1, nos últimos 20 anos a representatividade do petróleo e seus derivados decresceu cerca de 32,6%, enquanto o gás natural e as energias renováveis duplicaram no mesmo período (2).

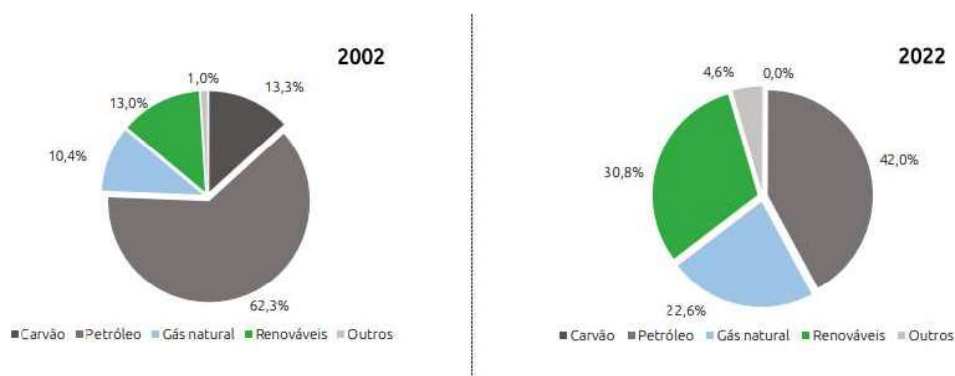


Figura 1 - Comparação do consumo total de energia primária, entre 2002 e 2022
Fonte: (2) (4)

A União Europeia tem promovido o desenvolvimento do setor dos edifícios através da publicação de diretivas comunitárias que incentivam os Estados-Membros a reduzir a utilização de energia fóssil na climatização e a diminuir para metade as emissões de CO₂ até 2050 (3).

Entre as várias medidas propostas, destaca-se a aposta em soluções provenientes de fontes renováveis, tanto para a produção de energia elétrica como térmica, com o objetivo de reduzir a dependência externa de combustíveis fósseis.

Em Portugal, apesar da elevada dependência energética do exterior, Figura 2 a aposta nas energias renováveis tem-se intensificado nos últimos anos, nomeadamente com o desenvolvimento de parques eólicos, solares e hídricos, contribuindo para uma redução gradual da fatura energética nacional (4).

Dependência Energética (%)

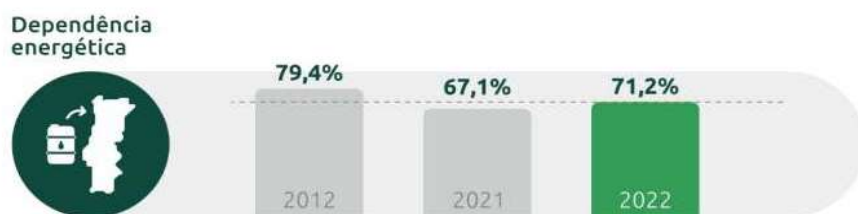


Figura 2 - Dependência Energética de Portugal (2000–2022)

Fonte: (4)

Portugal apresenta ainda um elevado potencial de aproveitamento solar, com uma média anual de 2200 a 3000 horas de sol no continente, e valores entre 1700 e 2200 horas nas regiões autónomas (5), Figura 3.

A média de irradiação solar global varia entre 1400 kWh/m² em Vila Real e 1700 kWh/m² em Faro, o que posiciona o país como um dos locais mais favoráveis da Europa à utilização de energia solar..

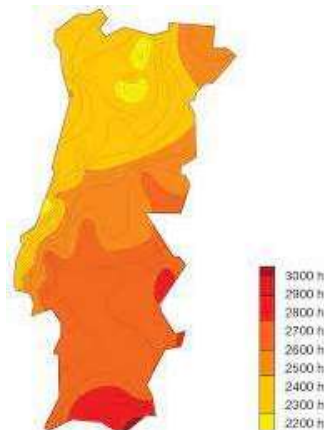


Figura 3 - Irradiação solar global média anual em Portugal continental
.Fonte: (5)

Outro problema que ganhou importância nos últimos anos é a necessidade de repensar os métodos construtivos tradicionais, frequentemente dispendiosos e de elevada pegada ambiental, mantendo no entanto os objetivos de conforto térmico e garantir a eficiência energética.

Neste contexto, a reutilização de contentores marítimos apresenta-se como uma alternativa construtiva sustentável, modular e económica, integrando princípios de eficiência energética e economia circular, Figura 4.



Figura 4 - Exemplo de habitação modular com contentores marítimos reutilizados - Edifício de construção social em Barcelona Fonte: (6)

As principais vantagens deste tipo de habitações:

- Redução dos custos de construção;
- Menor desperdício de água e materiais;
- Minimização da produção de resíduos;
- Redução do peso estrutural e do tempo de execução;
- Menor impacto ambiental em comparação com o betão armado.

Apesar das vantagens, subsistem desafios relacionados com a aceitação social e regulamentar desta tipologia construtiva.

Este trabalho procura demonstrar que uma habitação construída com contentores marítimos pode garantir conforto térmico, qualidade arquitetónica e desempenho energético equivalentes aos das construções convencionais.

Além disso, o aumento dos custos de construção e a escassez de habitação acessível em Portugal tornam este tema ainda mais pertinente.

A adoção de soluções modulares reutilizáveis, como os contentores marítimos, pode representar uma resposta técnica e económica à crise habitacional, conciliando acessibilidade, rapidez e sustentabilidade ambiental.

1.2 Objetivos e Justificação do Tema Proposto

O presente projeto, desenvolvido no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão de Energia na Indústria e Edifícios, tem como objetivo principal propor e avaliar uma solução construtiva alternativa baseada na reutilização de contentores marítimos (CM) para a construção de uma moradia unifamiliar, cumprindo as exigências regulamentares de conforto térmico e eficiência energética.

De forma mais específica, pretende-se:

- Demonstrar que a construção com contentores pode cumprir os requisitos legais de desempenho energético para edifícios de habitação;
- Avaliar o desempenho energético da habitação através dos métodos Sistema de Certificação Energética (SCE) e Passive House Planning Package (PHPP);
- Propor soluções construtivas otimizadas que permitam atingir uma classificação energética elevada;
- Promover a reutilização de materiais e a redução do impacto ambiental associado à construção tradicional.

Este projeto visa, assim, contribuir para a valorização técnica e social da construção modular, desmistificando a ideia de que os contentores são apenas estruturas temporárias ou de baixa qualidade, demonstrando que podem constituir habitações sustentáveis, confortáveis e energeticamente eficientes.

1.3 Organização e Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, complementados por anexos técnicos:

- Capítulo 1 – Introdução:
Apresenta o enquadramento do tema, os objetivos do estudo e a organização do trabalho.
- Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica / Estado da Arte:
Aborda os conceitos fundamentais sobre construção modular, reutilização de contentores e enquadramento regulamentar em Portugal e na União Europeia.
- Capítulo 3 – Metodologia:
Descreve a metodologia adotada, os indicadores de desempenho energético e as ferramentas de cálculo e simulação utilizadas (SCE e PHPP).

- Capítulo 4 – Estudo de Caso:
Apresenta a habitação em análise, a caracterização construtiva, os parâmetros de simulação e os resultados do desempenho energético.
- Capítulo 5 – Resultados e Discussão:
Analisa e compara os resultados obtidos pelos métodos SCE e PHPP, discutindo as diferenças e implicações.
- Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros:
Resume os principais resultados e propõe desenvolvimentos futuros, incluindo a replicação do modelo em contextos semelhantes.

Os conteúdos técnicos complementares, incluindo metodologias de cálculo dados climáticos e tabelas de apoio, encontram-se organizados em anexos.

O Anexo A descreve a metodologia de cálculos SCE, enquanto o Anexo B detalha o método de cálculo PHPP.

Os dados climáticos e condições de fronteira encontram-se no anexo C, e as tabelas de apoio e dados construtivos são apresentadas no Anexo D.

As peças desenhadas que suportam o estudo estão incluídas no anexo E, e a folha comparativa SCE-PHPP, desenvolvida pelo autor, com os resultados das simulações, no Anexo F.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica / Estado da Arte

2.1 Habitação Alternativa e Reutilização de Contentores Marítimos

A procura por soluções habitacionais sustentáveis e economicamente viáveis tem vindo a aumentar significativamente, impulsionada pela escalada dos custos de construção tradicional e pela escassez de habitações a preços acessíveis (7). O setor da construção enfrenta atualmente desafios relacionados com o consumo intensivo de recursos naturais e as elevadas emissões de dióxido de carbono associadas aos materiais convencionais, como o betão e o aço (8).

A reutilização de contentores marítimos (CM) apresenta-se como uma alternativa eficiente e sustentável. Estima-se que milhões de contentores sejam descartados anualmente após a sua vida útil, permanecendo armazenados em portos e contribuindo para o desperdício de aço. O reaproveitamento destes elementos reduz a pressão sobre os recursos naturais e contribui para a mitigação das emissões de CO₂ (9).

Os contentores normalizados ISO — em particular as normas ISO 668 e ISO 1496-1 — garantem uniformidade dimensional e resistência estrutural – Tabela 1, permitindo a sua utilização modular em múltiplas configurações construtivas.

Tabela 1 - Tipos e dimensões normalizadas de contentores marítimos (ISO 668)

Tipologia	Comprimento (interior)	Largura (interior)	Altura (interior)	Capacidade	Tara (kg/lbs)
20' Standard Dry	5.440 m	2.294 m	2.237 m	27.9 m ³	2,750 kg
20' High Cube Dry	5.919 m	2.340 m	2.286 m	33.0 m ³	1,900 kg
20' Open Top	5.919 m	2.340 m	2.286 m	32.0 m ³	2,177 kg
20' Flat Rack	5.935 m	2.398 m	2.327 m	--	2,560 kg

Tipologia	Comprimento (interior)	Largura (interior)	Altura (interior)	Capacidade	Tara (kg/lbs)
40' Standard Dry	12.035 m	2.350 m	2.393 m	67.0 m3	3,700 kg
40' High Cube Dry	12.030 m	2.350 m	2.690 m	76.0 m3	3,930 kg
40' Standard Reefer	11.577 m	2.294 m	2.210 m	58.7 m3	3,950 kg
40 High-Cube Reefer	11.577 m	2.294 m	2.509 m	67.0 m3	3,950 kg
40' Flat Rack	12.080 m	2.420 m	2.103 m	--	5,480 kg
45' High Cube Dry	13.556 m	2.352 m	2.695 m	86.0 m3	4,590 kg
45' High-Cube Reefer	13.102 m	2.286 m	2.509 m	75.4 m3	5,200 kg

Do ponto de vista ambiental e económico, as principais vantagens da construção com contentores são:

- Redução do consumo de matérias-primas e de resíduos, Figura 5;
- Diminuição do tempo e do custo global de construção;
- Facilidade de transporte, montagem e desmontagem;
- Elevada durabilidade estrutural devido ao aço corten.

No entanto, esta metodologia requer atenção especial ao isolamento térmica, controlo de condensações e adequação às normas energéticas e acústicas.

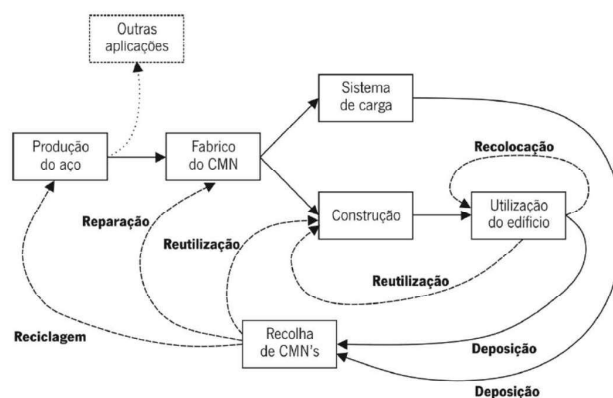


Figura 5 - Ciclo de vida de um contentor marítimo no conceito de economia circular

2.2 Metodologias Construtivas e Características Técnicas dos Contentores

Os contentores marítimos do tipo High Cube (HC) são os mais adequados para adaptação habitacional, uma vez que a sua altura útil interna de cerca de 2,70 m cumpre o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), que exige pé-direito mínimo habitável de 2,40 m (10).

A construção modular com contentores segue uma metodologia de prefabricação em ambiente controlado, com montagem final em obra. Esta abordagem garante maior precisão dimensional, redução de desperdícios e permite incorporar sistemas técnicos modernos de isolamento, revestimento e climatização, Figura 6.



Figura 6 - Exemplo de moradia modular construída com contentores marítimos reutilizados Fonte: (11)

A estrutura metálica dos contentores é fabricada em aço corten, concebido para resistir a cargas verticais e horizontais significativas, incluindo empilhamento de várias unidades.

As paredes laterais e o teto são compostos por chapas nervuradas de 1,6 a 2,0 mm de espessura, soldadas a perfis tubulares de reforço estrutural.

O processo de transformação habitacional inclui:

- Corte e reforço estrutural com perfis metálicos;
- Aplicação de isolamento térmico (lã mineral, poliuretano ou cortiça expandida);
- Revestimentos interiores em gesso cartonado;

- Revestimentos exteriores metálicos ou compósitos;
- Integração de instalações elétricas e hidráulicas em calhas técnicas

Esta metodologia, além de garantir rapidez construtiva, proporciona um controlo rigoroso da qualidade térmica e estrutural, sendo compatível com as exigências de desempenho energético estabelecidas no SCE e no PHPP, discutidos no Capítulo 3.

2.3 Regulamentação Energética de Edifícios em Portugal (SCE)

O Sistema de Certificação Energética (SCE), gerido pela ADENE, tem como objetivo avaliar e classificar o desempenho energético dos edifícios em Portugal. O atual enquadramento legal é definido pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, complementado pela Portaria n.º 138-I/2021 e pelo Despacho n.º 6476-H/2021, que aprova o Manual SCE (11).

O desempenho energético é avaliado com base nos seguintes indicadores:

- Necessidades de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc});
- Consumo de energia primária total e percentagem de energia renovável;
- Rendimento dos sistemas de climatização e AQS;
- Classe energética global, de A+ (mais eficiente) a F (menos eficiente), conforme visível na figura 7.



Figura 7 - Estrutura do Sistema de Certificação Energética (SCE) em Portugal Fonte: (12)

O SCE define requisitos diferenciados consoante o tipo de edifício (habitação ou serviços) e a sua localização climática (zonas de inverno e verão). Estes requisitos estabelecem valores máximos de coeficiente de transmissão térmica (U_{max}) para os elementos da envolvente e exigem a integração de energias renováveis na produção de AQS.

Além disso, o SCE está alinhado com os objetivos do Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), que visam reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 85% até 2050 (13). Portugal, tem legislado desde 2002 os requisitos e método de cálculo para o desempenho energético dos edifícios, referenciado a sua evolução na figura 8.

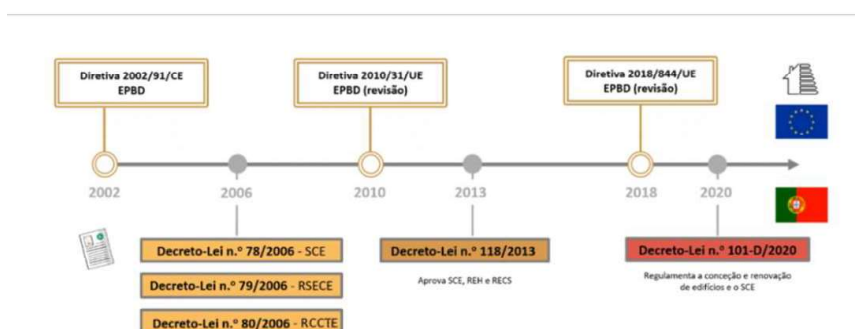


Figura 8 - Evolução legislativa do desempenho energético dos edifícios em Portugal (2006-2023)
Fonte: (12)

As equações e parâmetros regulamentares utilizados na metodologia SCE, aplicados posteriormente na análise energética, encontram-se descritos detalhadamente no Anexo A.

2.4 Standard Passivhaus (PHPP)

O Passive House Planning Package (PHPP) é um conjunto de ferramentas e princípios desenvolvidos pelo Passive House Institute (PHI), com o objetivo de projetar edifícios de consumo quase nulo (nZEB) com elevado conforto térmico.

Este método realiza o balanço energético anual com base em condições climáticas locais e parâmetros físicos detalhados (14).

Os critérios principais de certificação Passivhaus são:

- Necessidades de aquecimento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$;
- Necessidades de arrefecimento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$;
- Energia primária total $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{ano})$;
- Estanquidade ao ar $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$.

O PHPP diferencia-se do SCE por adotar um modelo de cálculo mais dinâmico e preciso, com simulações mensais e horárias que consideram ganhos solares, ventilação controlada e perdas por transmissão.

Embora a sua aplicação em Portugal ainda seja limitada, tem ganho destaque em projetos residenciais de elevada eficiência energética.

A formulação matemática e os critérios de dimensionamento térmico aplicados no método PHPP encontram-se resumidos no Anexo B.

2.5 Estudos Anteriores Relevantes

Vários estudos demonstram a viabilidade técnica e energética da construção modular com contentores marítimos.

Silva et al. (15) concluíram que, mediante a aplicação de isolamento contínuo na envolvente e sistemas de ventilação mecânica controlada, é possível atingir classe energética A em edifícios residenciais com contentores.

De forma semelhante, Costa e Almeida (16) realizaram uma análise comparativa entre o SCE e o PHPP, concluindo que, em climas mediterrânicos, soluções com

isolamento térmico reforçado e recuperação de calor podem aproximar os resultados dos padrões Passivhaus.

Os resultados indicam que a reutilização de contentores marítimos, aliada a uma conceção bioclimática adequada, constitui uma solução habitacional sustentável e energeticamente eficiente, com custos controlados e reduzido impacto ambiental.

Capítulo 3 – Metodologia de Cálculo e Desempenho Energético

3.1 Descrição da Metodologia Adaptada

A metodologia adotada neste estudo tem como objetivo avaliar o desempenho energético de uma habitação unifamiliar construída com contentores marítimos reutilizados, recorrendo à comparação entre dois sistemas de cálculo: o Sistema de Certificação Energética (SCE) e o Passive House Planning Package (PHPP).

O processo metodológico foi estruturado em quatro etapas principais, conforme ilustrado na Figura 9:

1. Caracterização do edifício – Definição geométrica, construtiva e funcional do modelo base;
2. Definição dos parâmetros de cálculo – Determinação das propriedades térmicas, sistemas energéticos e condições fronteira;
3. Cálculo e simulação energética – Aplicação dos métodos SCE e PHPP;
4. Análise comparativa e crítica dos resultados – Identificação de divergências e propostas de melhoria.

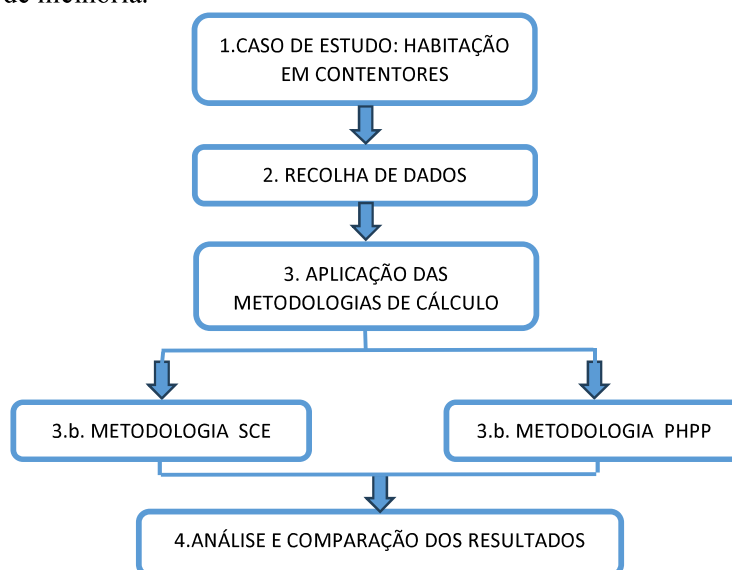


Figura 9 - Etapas metodológicas de avaliação aplicadas ao caso de estudo Fonte: Auto

A folha de cálculo desenvolvida pelo autor integra as expressões e algoritmos base de ambos os sistemas, permitindo comparar os resultados de forma direta. Esta ferramenta constitui um modelo híbrido que cruza as metodologias nacionais e internacionais, promovendo uma abordagem analítica e coerente. O procedimento segue as metodologias descritas nos Anexos A e B, com base regulamentar no REH e no Passive House Institute (PHI).

3.2 Indicadores de Desempenho Energético

Os principais indicadores de desempenho considerados neste estudo estão alinhados com as exigências do REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação) e com os critérios Passivhaus, conforme representado na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais indicadores de desempenho energético considerados

Indicador	Unidade	Descrição	Fonte
U	-(W/m ² ·K)	Coefficiente global de transmissão térmica	REH / PHPP
$\eta_i \eta_v$	%	Rendimento dos sistemas de aquecimento e arrefecimento	SCE
$N_i N_v$	kWh/m ² ·ano	Necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento	SCE / PHPP
E_p	kWh/m ² ·ano	Energia primária total	SCE / PHPP
CO ₂ eq	kgCO ₂ /m ² ·ano	Emissões anuais de CO ₂	SCE
n_{50}	h ⁻¹	Taxa de renovação de ar à pressão de 50 Pa (estanquidade) - Estanquidade ao ar (ensaio a 50 Pa)	PHPP
Tinta / Transmitância	-	Propriedades óticas da envolvente	PHPP
F _{sol}	-	Fator solar total das aberturas	SCE / PHPP
Ψ	W/m·K	Coefficiente linear de pontes térmicas	ISO 10211 / REH

A avaliação conjunta destes parâmetros permite identificar a eficiência global do edifício e avaliar o seu comportamento térmico sazonal, considerando tanto o desempenho regulamentar (SCE) como o desempenho real (PHPP), criando assim uma interação entre os vários parâmetros, esquematizado na Figura 10.

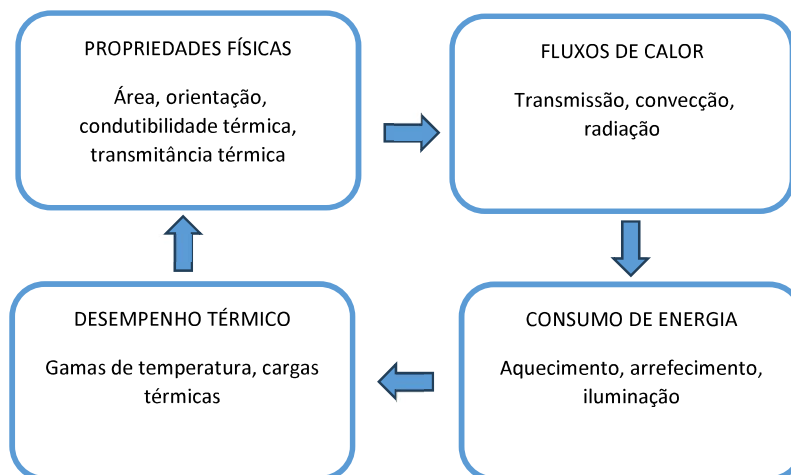


Figura 10 - Interação entre parâmetros físicos, térmicos e energéticos do edifício (Fonte: Autora)

3.3 Ferramentas de Cálculo e Simulação

3.3.1 Ferramenta SCE

O Sistema de Certificação Energética é regulado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, e utiliza um modelo de cálculo semidinâmico baseado em médias mensais, assumindo condições de fronteira padrão (11).

Os principais módulos de cálculo esquematizados na Figura 11 incluem:

- Necessidades nominais (N_{ic}, N_{vc});
- Cálculo de U-values e ganhos solares;
- Eficiência dos sistemas técnicos (aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação);
- Cálculo da energia primária (EP) e classe energética final.

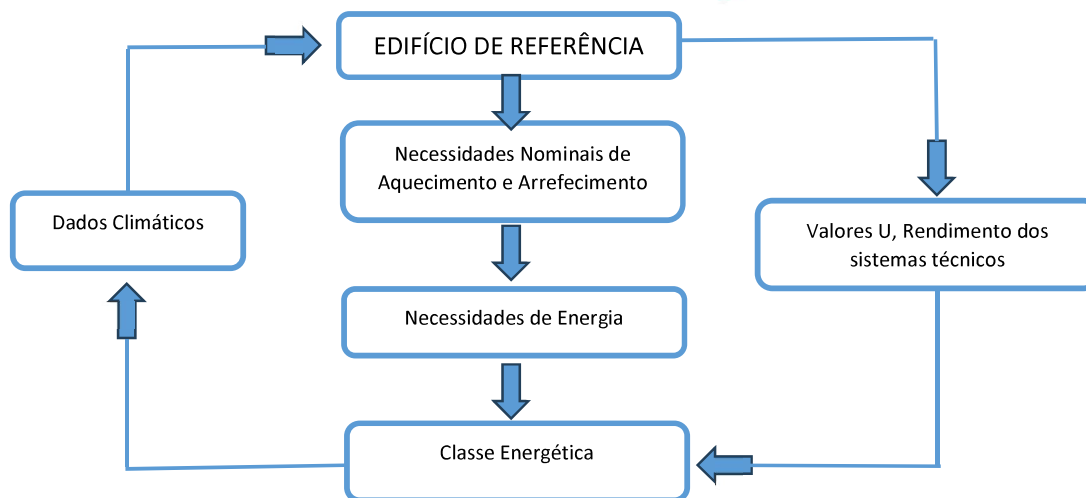


Figura 11 - Estrutura de cálculo regulamentar SCE Fonte Adaptado: (13)

A metodologia SCE (13), foca-se na conformidade com os valores-limite definidos para cada zona climática e tipo de edifício. O resultado final é expresso em classe energética (A+ a F) e taxa de emissões de CO₂.

3.3.2 PHPP – Passivhaus Planning Package

O PHPP (Passive House Planning Package) baseia-se em folhas de cálculo Excel e realiza um balanço energético detalhado.

- Transmissão de calor por elementos opacos e translúcidos;
- Ganho solar direto e difuso;
- Infiltrações e ventilação mecânica com recuperação de calor;
- Perdas internas e ganhos por equipamentos e ocupação.

Diferente do SCE, o PHPP utiliza parâmetros locais específicos e simulação mensal detalhada, permitindo maior precisão na análise térmica e no conforto interior.

No presente trabalho, será desenvolvida uma folha de cálculo híbrida, em Excel, que reproduz os princípios de ambas as metodologias, garantindo a comparabilidade dos resultados obtidos.

As fórmulas e algoritmos aplicados nas folhas de cálculo encontram-se detalhados no anexo A (para SCE) e no Anexo B (para PHPP). A estrutura da folha comparativa desenvolvida pelo autor e os seus critérios de funcionamento estão apresentados no Anexo F.

3.4 Definição dos Parâmetros de Análise

A definição dos parâmetros de análise considera as condições reais de um edifício modular habitacional construído a partir de contentores marítimos, adaptados a habitação unifamiliar, conforme exemplo da Figura 12.



Figura 12 - Modelo de contentor marítimo a utilizar no caso prático

Os principais parâmetros físicos e climáticos considerados estão resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de análise energética considerados no modelo base.

Parâmetro	Descrição / Valor	Fonte / Norma
Zona climática	Inverno I1 / Verão V3	Manual SCE
Área útil total	107.73 m ²	Projeto-base
Pé-direito médio	2,40 m	RGEU
Envolvente Planas	U ≤ 0,50 – SCE U ≤ 0,15-0,20 - PHPP	Manual SCE / PHPP
Cobertura	U ≤ 0,35 – SCE U ≤ 0,10-0,15 - PHPP	Manual SCE / PHPP

Pavimento		U ≤0,40 – SCE U ≤0,10-0,20 - PHPP	Manual SCE / PHPP
Sistemas técnicos	Ventilação	Mecânica com recuperação de calor ($\eta \geq 75\%$)	PHPP
	Climatização	Bomba de calor ar-ar	Catálogo técnico
	AQS	Bomba de calor ar-água	Catálogo técnico
	Produção elétrica	Sistema fotovoltaico 1,5 kWp	RNC2050

O edifício localiza-se no Concelho de Santiago do Cacém, freguesia da Abela, no Alentejo Litoral (NUTS III).

As coordenadas geográficas são 37° 98' 9667" N; 8° 55' 2688" W, a uma altitude de 107 m, sinalizado na Figura 13.

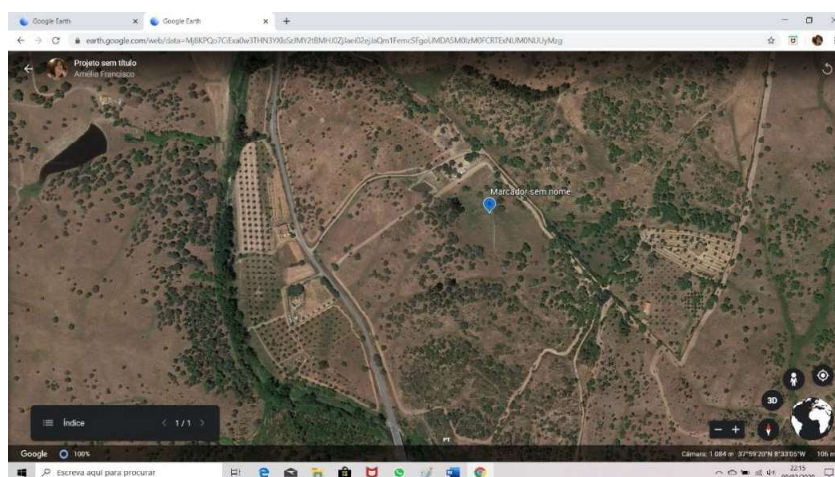


Figura 13 - Localização do edifício em Santiago do Cacém Fonte: Google Maps (2024)

A envolvente é rural, com baixa densidade edificada e ausência de obstáculos significativos à radiação solar.

A caracterização climática, obtida a partir da base de dados do LNEG (17), enquadra o edifício na zona climática de inverno I1 e verão V3, com rugosidade II.

As condições médias anuais são:

- Temperatura média: 12 °C a 22 °C;
- Temperatura máxima (verão): 33 °C;

- Temperatura mínima (inverno): 3 °C;
- Irradiação solar média anual: 1650 kWh/m².

. Os dados meteorológicos utilizados na simulação correspondentes à estação climática de Santiago do Cacém, foram obtidas a partir do Anexo C, com base nos dados do LNEG.

Esses dados foram usados para alimentar ambas as simulações — SCE e PHPP — garantindo consistência climática, enquanto os valores das propriedades térmicas e soluções construtivas aplicadas constam do Anexo D

3.5 Modelo Híbrido SCE–PHPP

Com o objetivo de permitir a comparação direta entre metodologias, o autor desenvolveu uma folha de cálculo híbrida, estruturada em módulos interdependentes:

1. Entrada de dados físicos e climáticos;
2. Cálculo de U-values e perdas térmicas;
3. Determinação das necessidades de aquecimento/arrefecimento;
4. Estimativa da energia primária e classe energética (SCE);
5. Estimativa das necessidades térmicas e conforto (PHPP);
6. Quadro comparativo dos resultados.

Os resultados serão expressos em termos de necessidades energéticas anuais, eficiência global dos sistemas e classificação energética final.

As diferenças conceptuais e operacionais entre a metodologia SCE e PHPP encontram-se sintetizadas no Capítulo 5.

A folha de cálculo híbrida desenvolvida no âmbito deste projecto, descrita no Anexo G, permitindo a integração e comparação direta dos dois métodos.

Os resultados obtidos servirão de base para o Capítulo 4 – Estudo de Caso, onde será feita a análise detalhada do desempenho energético do edifício modular.

Capítulo 4 – Caso de Estudo

4.1 Introdução

O presente caso de estudo centra-se na análise do desempenho energético de uma habitação unifamiliar de tipologia T3 construída a partir da reutilização de contentores marítimos.

O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e energética desta solução construtiva, avaliando a conformidade com as exigências regulamentares portuguesas (SCE) e internacionais (PHPP).

O edifício foi projetado de forma a respeitar o Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), garantindo níveis adequados de conforto térmico, ventilação e iluminação natural.

Além do enquadramento normativo, este estudo pretende também responder a um problema socioeconómico atual: o acesso limitado à habitação a custos acessíveis. A construção modular com contentores constitui uma alternativa viável, que alia eficiência energética, redução de custos e sustentabilidade ambiental.

4.2 Tipo de Contentor Escolhido

A indústria dos contentores marítimos enfrenta um desafio crescente de sustentabilidade. Milhões de contentores são anualmente desativados, originando um passivo ambiental relevante.

A economia circular surge, assim, como uma oportunidade para prolongar o ciclo de vida destes módulos através da sua reutilização na construção civil.

Neste projeto, foram utilizados contentores marítimos do tipo ISO 40'HC, cuja geometria e resistência seguem as normas da International Standard Organization (ISO) (18), assegurando uniformidade dimensional e desempenho mecânico.

Os contentores marítimos ISO 40' High Cube (HC) foram selecionados por apresentarem maior altura interna ($\approx 2,70$ m), o que permite cumprir o pé-direito mínimo habitável exigido pelo RGEU (10) ($\geq 2,40$ m) representados esquematicamente na Figura 14 e dimensões dos mesmos na Tabela 4.

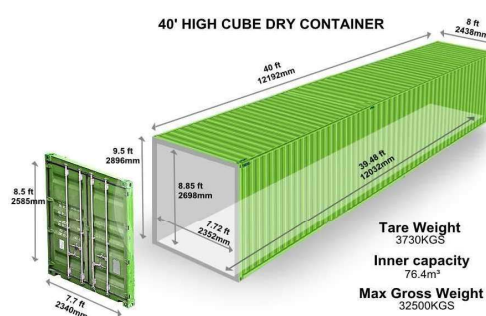


Figura 14 - Contentor marítimo ISO 40'HC utilizado como módulo base Fonte: OLX / Adaptado pelo autor (2024)

Tabela 4 - Dimensões do contentor ISO 40'HC

Parâmetros	Valores
Comprimento	12 190 mm
Largura	2 438 mm
Altura	2 591 mm
Peso	3 800 kg
Material estrutural	Aço corten
Capacidade de carga	30 480 kg

Esta tipologia possui estrutura robusta, elevada durabilidade e dimensões padronizadas, favorecendo a modularidade e a facilidade de transporte.

A escolha deste contentor justifica-se também pela disponibilidade no mercado e pelo baixo custo relativo quando comparado a materiais convencionais de construção.

4.3 Descrição da Habitação e Disposição dos Contentores

O edifício tem uma área de implantação de 107,73 m², constituída por um único piso térreo e um pé-direito médio de 2,4 m, totalizando um volume útil de 258,55 m³.

A habitação encontra a sua orientação solar a Sul e Oeste, maximizando os ganhos solares no inverno e permitindo a proteção no verão.

O edifício é composto por quatro contentores de 40'HC dispostos longitudinalmente, unidos pelos lados de maior comprimento, conforme representado na Figura 15.



Figura 15 - Disposição dos contentores marítimos na habitação modular Fonte: Autora 2024

As dimensões das compartimentações / divisões são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Áreas dos compartimentos da habitação

Compartimentos	Áreas (m²)	Pé direito (m)	% Área	Volume (m³)
Quarto 1	13,48	2,4	12,51	32,352
WC1	4,12	2,4	3,82	9,888
Quarto 2	10,92	2,4	10,14	26,208
Quarto 3	10,13	2,4	9,40	24,312
WC 2	4,38	2,4	4,07	10,512
Sala + Cozinha	54,16	2,4	50,27	129,984
Despensa	3,94	2,4	3,66	9,456
WC Serviço	2,42	2,4	2,25	5,808
Hall de entrada	4,18	2,4	3,88	10,032
TOTAL	107,73	2,4	100,00	258,552

A planta da habitação estudada encontram-se apresentadas no anexo E,

As soluções construtivas, coeficientes de transmissão térmica e propriedades dos materiais utilizados estão sistematizadas no Anexo E.

4.4 Caracterização dos Espaços e Envolventes

De acordo com o Decreto-Lei n.º 118/2013, todos os compartimentos da habitação são classificados como espaços úteis, dado que se destinam à ocupação permanente e são climatizados.

A envolvente térmica inclui elementos opacos (paredes, coberturas, pavimentos) e translúcidos (portas e janelas).

As soluções construtivas adotadas baseiam-se em materiais de baixo impacto ambiental, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Características técnicas das envolventes principais Fonte: Autora

Elemento	Composição (interior → exterior)	Espessura total (m)	U (W/m ² ·°C)
Parede exterior (PRE1)	Parede, constituída (do interior para o exterior) por painel de gesso cartonado (1,5 cm), caixa-de-ar não ventilada (1,5 cm), isolante térmico de lã de rocha (18,5 cm) e painel metálico nervurado (3,8 cm).	0,25	0,199
Cobertura plana (CBE1)	Laje de cobertura plana constituída (de cima para baixo) por painel sandwich (6 cm), caixa-de-ar (1,5 cm), painel metálico nervurado (3,8 cm), caixa-de-ar (5 cm), isolante térmico Lã de rocha (15 cm), e painel de gesso cartonado (1,5 cm).	0,463	0,167
Pavimento sobre solo (PAV1)	Laje de pavimento constituída (de cima para baixo) por pavimento flutuante (1 cm), argamassa de regularização (0,55 cm), manta geotêxtil de protecção (0,15 cm), painel de aglomerado hidrófugo (0,8 cm), isolante térmico XPS (16 cm), base do contentor em aço (13,5 cm) e painel metálico liso (0,2 cm).	0,325	0,214
Janela (EV1-EV10),	Vidro triplo, baixo emissivo, com árgon ou kriptón, caixilho Alumínio com ruptura térmica para edifícios passivos ou PVC reforço passivo	0,08	U _w SCE 0,83 U _w PHPP 0,88
Porta exterior (PE1)	Porta em chapa dupla de alumínio, com isolamento térmico, situada na entrada principal.	0,03	0,508

4.5 Sistemas Técnicos

Os sistemas técnicos considerados foram os típicos para este tipo de edifício não tendo sido efetuado, por questões de tempo, o adequado dimensionamento.

4.5.1 Climatização (AVAC)

O sistema de climatização considerado é do tipo bomba de calor ar/ar, com eficiência nominal:

- COP = 4,23 (aquecimento)
- EER = 3,33 (arrefecimento)

Equipamento: tipo “MultiSplit” da marca Mitsubishi Electric - MXZ-6F120VF com potência de arrefecimento 12,2 kW e potência de aquecimento de 14 kW inferior a (25 kW máx)

Os rendimentos considerados nos cálculos SCE e PHPP foram retirados de catálogos técnicos no anexo H:

4.5.2 Produção de AQS

Sistema convencional com bomba de calor dedicada a AQS com depósito de 200 litros, com COP 3,72, catálogo no anexo G.

4.5.3 Energias Renováveis

Prevê-se a instalação de painéis fotovoltaicos de 2,5 kWp, para autoconsumo e compensação das necessidades elétricas anuais.

4.5.4 Ventilação

A introdução de ar novo é obrigatória, considerou-se um sistema de ventilação mecânica de duplo fluxo com recuperação de calor, com eficiência térmica de cerca de 82%, valor compatível com equipamentos, conforme o REH e Manual SCE, conforme ficha técnica apresentada no Anexo I.

4.6 Metodologia de Avaliação Energética — SCE e PHPP

4.6.1 Sistema de Certificação Energética (SCE)

No âmbito do SCE, a avaliação foi conduzida conforme o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, com base nas metodologias do Manual SCE (13).

O cálculo inclui:

- Determinação dos coeficientes de transmissão térmica (U);
- Cálculo das necessidades de aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc});
- Estimativa da energia primária e final;
- Determinação da classe energética.

Os dados de entrada incluem propriedades dos materiais, fatores solares, ventilação, e zonas térmicas. O resultado final é expresso em classe energética A a F.

4.6.2 Standard Passive House (PHPP)

O método PHPP foi aplicado com base nos critérios do Passive House Institute (2020), adaptando os parâmetros locais de clima e materiais (19).

O modelo foi desenvolvido em folha Excel (Anexo F), com módulos para:

- Perdas térmicas por transmissão e ventilação;
- Ganhos solares e internos;
- Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento;
- Energia primária total.

4.6.3 Critérios de Comparação SCE vs PHPP

A **Tabela 7** apresenta as principais diferenças metodológicas entre o SCE e o PHPP

Tabela 7 - Critérios comparativos entre SCE e PHPP Fonte: Autora

Parâmetro	SCE	PHPP
Tipo de balanço	Regulamentar (nacional)	Energético (internacional)
Base de cálculo	Necessidades nominais e fatores de conversão	Balanço detalhado anual
Enfoque	Conformidade legal e classificação energética	Eficiência real e conforto térmico
Clima base	Nacional (LNEG)	Clima adaptável a norma EN ISO 13790
Output (Saída)	Classe energética (A+, A, B, etc.)	Necessidades térmicas e energéticas totais

Os métodos de cálculo utilizados nesta etapa seguem as definições do Anexo A e Anexo B, aplicados à habitação em estudo. Os resultados obtidos em ambas as metodologias foram organizadas na folha Excel apresentada no Anexo F.

4.7 Resultados

Os resultados obtidos a partir das folhas de cálculo (SCE e PHPP) permitem:

- Determinar o desempenho térmico global da habitação;
- Identificar os principais pontos de perda energética;
- Verificar a conformidade com os limites regulamentares;

Capítulo 5 - Comparação Metodológica entre o SCE e o PHPP

5.1 Introdução

Desenvolveu-se a análise comparativa entre as metodologias SCE e PHPP aplicadas ao estudo de caso (Cap. 4), usando a base normativa e as fórmulas descritas nos Anexos A (SCE) e B (PHPP), com dados climáticos (Anexo D) e dados construtivos (Anexo E).

O objetivo é evidenciar convergências, divergências e impactos práticos na avaliação energética de edifícios de construção alternativa como os contentores marítimos reutilizados.

A comparação tem particular relevância, uma vez que os dois métodos partilham princípios comuns de eficiência térmica e energética, mas divergem na filosofia de cálculo, na abordagem regulamentar e nos limites de desempenho exigidos.

5.2 Enquadramento Geral

O SCE (DL 101-D/2020) é o referencial regulamentar nacional, obrigatório para licenciamento e transações, atribuindo classe energética por comparação com um edifício de referência.

O PHPP (PHI) é um padrão internacional focado na redução efetiva de necessidades térmicas e no conforto (p. ex., n_{50} , recuperação de calor, ganhos passivos), com limiares absolutos (15 kWh/(m².ano)) para aquecimento/arrefecimento) (11) (14) (20).

5.3 Diferenças Metodológicas Fundamentais

5.3.1 Síntese comparativa

A tabela 8, apresenta uma síntese comparativa das principais parâmetros entre SCE e PHPP.

Tabela 8 - Tabela comparativa dos principais parâmetros entre SCE e PHPP

Aspeto	SCE	PHPP
Finalidade principal	Conformidade legal e classe energética	Minimização de necessidades e conforto térmico
Modelo de cálculo	Semiestático (balanços mensais; edifício de referência)	Balanço anual detalhado (folhas Excel; parâmetros finos)
Clima	Bases nacionais (LNEG)	Climas específicos/ajustáveis (também LNEG/EPW convertidos)
Envolvente	U, g, pontes térmicas por catálogos REH/ADENE	U, g, ψ e χ detalhados; maior sensibilidade a sombreamentos
Ventilação	Renovação mínima; VM (opcional)	VMRC obrigatória para padrão; η_{HRV} explícita
Estanquidade (n_{50})	Não obrigatório no cálculo	Critério central ($n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$)
Energia primária	Fatores nacionais (eletricidade ~2,5)	Fatores PHI (eletricidade ~2,7, atualizáveis)
Saída	Classe A+...F; EP; CO _{2eq}	QH,nd; QC,nd; EP _{tot} ; verificação de limiares
Adequação	Licenciamento e mercado PT	Otimização de projeto e NZEB/Passivhaus

Os dois métodos assentam em normas comuns (EN ISO 52016, 13790), mas divergem nos pressupostos e granularidade (20) (21).

5.3.2 Implicações para edifícios em contentor

As principais implicações para edifícios como o do estudo são:

- Pontes térmicas metálicas (cantoneiras, vigas, esquinas) têm peso maior no PHPP (ψ/χ explícitos). No SCE, a abordagem por catálogos pode subestimar perdas se não houver correção adequada.

- Estanquidade: módulos metálicos permitem valores η_{50} muito baixos (vantagem em PHPP); no SCE, o ganho não é explicitamente valorizado sem VMRC.
- Ganhos solares: PHPP é mais sensível a sombreamentos sazonais e ao g_{total} ; SCE tende a médias mensais mais amortecidas.

5.4 Definição de Fronteiras e Condições de Contorno

No caso da definição de fronteira e condições de contorno Tabela 9, SCE considera fronteiras energéticas fixas baseadas na climatologia do LNEG, com perfis médios de temperatura e radiação solar mensais.

O PHPP, por sua vez, permite a introdução de ficheiros climáticos específicos com resolução horária, ajustando a simulação ao microclima real do local.

Tabela 9 - Condições de fronteira entre SCE e PHPP

Aspeto	SCE	PHPP
Dados climáticos	Médias mensais (LNEG 2022)	Mensais
Zona climática	II/V3 (Santiago do Cacém)	Local parametrizável
Temperatura interior de referência	20 °C (inverno), 25 °C (verão)	20–22 °C (estabilidade conforto)
Ventilação padrão	Natural ou mecânica ($\eta_v \leq 0,65$)	Mecânica com recuperação ($\eta_v \geq 0,75$)

5.5 Modelação da Envolvente

No caso da modelação da envolvente, Tabela 10, ambos os métodos baseiam-se no cálculo das perdas por transmissão e ganhos solares através da envolvente térmica

Contudo, o PHPP inclui parâmetros adicionais, como a estanquidade ao ar (η_{50}) e o fator de sombreamento dinâmico, ausentes do SCE.

Tabela 10 - Modelação das envolventes

Elemento	SCE – Regras de Cálculo	PHPP – Regras de Cálculo
Paredes exteriores	$U \leq 0,50 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (zona II/V2)	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (recomendado)
Coberturas	$U \leq 0,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$U \leq 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Pavimentos	$U \leq 0,45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$U \leq 0,15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Janelas	$U \leq 2,60 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$U \leq 0,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (vidro triplo)
Estanquidade (n_{50})	Não avaliada	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

Assim, observa-se que o PHPP é substancialmente mais exigente nos requisitos da envolvente, o que se reflete diretamente nas necessidades térmicas e na energia primária total.

5.6 Cálculo das Necessidades Energéticas

No SCE o cálculo das necessidades energéticas é expresso em energia primária (kWh/m²·ano), ponderada por fatores de conversão nacionais.

$$EP_{tot} = \sum (E_i / \eta_i) \times f_{p,i}$$

No PHPP o balanço energético é mais detalhado e considera o comportamento térmico hora a hora, considerado o modelo simplificado.

$$Q_{H,nd} = \sum (H_m \times (T_{i,ref} - T_{e,m}) - G_m)$$

$$Q_{C,nd} = \sum (G_m - H_m \times (T_{i,ref} - T_{e,m}))$$

Neste estudo para facilitar os cálculos, considerou-se a formula do SCE.

5.7 Resultados segundo o SCE

Com base na simulação realizada pela folha de cálculo desenvolvida (ver Anexo F), o edifício em estudo — composto por quatro contentores 40'HC — obteve resultados que cumprem integralmente os limites definidos pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020 e Manual SCE (11) (13)

Os principais indicadores estão resumidos na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados energéticos segundo o método SCE

Parâmetro	Símbolo / Unidade	Valor obtido	Limite regulamentar
Necessidades de aquecimento	Nic (kWh/m ² ·ano)	28,51	≤ 30
Necessidades de arrefecimento	Nvc (kWh/m ² ·ano)	40,13	≤ 20
Energia primária total	EP (kWh/m ² ·ano)	56,87	≤ 90
Percentagem de energia renovável	PER (%)		≥ 30
Classe energética	—	A ⁺	—

A avaliação do desempenho energético do edifício foi realizada de acordo com a metodologia regulamentar do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), tendo por base uma área útil climatizada de 107,73 m². As necessidades anuais úteis apuradas foram de 3071,83 kWh/ano para aquecimento (Qh) e 4323,65 kWh/ano para arrefecimento (Qc), refletindo o comportamento térmico sazonal resultante da envolvente, ventilação e ganhos térmicos.

Considerando os rendimentos dos sistemas adotados, nomeadamente $\eta_{\text{heat}} = 4,23$ para aquecimento e $\eta_{\text{cool}} = 3,33$ para arrefecimento, obtiveram-se consumos finais de 726,20 kWh/ano e 1298,39 kWh/ano, respetivamente.

A produção de águas quentes sanitárias (AQS), assegurada por bomba de calor com COP = 3,72, traduz-se numa energia primária anual de 1469,76 kWh/ano.

A energia primária total do edifício sem contribuição de produção fotovoltaica é de 6126,32 kWh/ano, correspondendo a uma energia primária específica de 56,87 kWh/m²·ano. Com este enquadramento, o edifício apresentaria uma classe energética C, com um rácio $R_{SCE} = 1,361$, resultante da comparação com o edifício de referência.

Contudo, com a integração do sistema fotovoltaico com potência instalada de 2,5 kWp, considerado no balanço energético através do autoconsumo anual, a energia primária total reduz-se para 606,32 kWh/ano, o que corresponde a uma energia primária específica de 5,63 kWh/m²·ano. Neste cenário, o rácio passa para $R_{SCE} = 0,135$, conduzindo à atribuição da classe energética A+, evidenciando o impacto muito significativo da produção renovável no desempenho global do edifício.

O valor de $EP_{ref} = 4500$ kWh/ano corresponde à energia primária do edifício de referência regulamentar, definida segundo as condições padrão do SCE (envolvente e sistemas de referência). Este valor constitui o termo de comparação para o cálculo do rácio $R_{SCE} = EP / EP_{ref}$, sendo este o parâmetro determinante para a classificação energética. Assim, a classe energética reflete a relação direta entre o desempenho do edifício real e o desempenho mínimo exigido por regulamento.

Os resultados obtidos demonstram que, embora o edifício apresente já um comportamento eficiente ao nível da envolvente e dos sistemas técnicos, é a integração do sistema fotovoltaico que permite alcançar o nível máximo de desempenho energético (A+), reduzindo drasticamente a dependência de energia primária externa.

5.8 Resultados segundo o PHPP

O cálculo realizado pelo modelo PHPP (Passive House Planning Package) mostrou uma melhor precisão nas estimativas de ganhos e perdas energéticas, por incluir o balanço energético mensal com dados climáticos locais (22).

Os principais indicadores estão resumidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultados energéticos segundo o método PHPP

Parâmetro	Símbolo / Unidade	Valor obtido	Critério Passivhaus
Necessidades de aquecimento	QH (kWh/m ² ·ano)	28,51	≤ 15
Necessidades de arrefecimento	QC (kWh/m ² ·ano)	1801,52	≤ 15
Energia primária total	EP _{tot} (kWh/m ² ·ano)	77,41	≤ 120
Estanquidade ao ar	n ₅₀ (h ⁻¹)	0,6	≤ 0,6
Conforto térmico (tempo > 25 °C)	%	---	≤ 10

A avaliação energética do edifício segundo a metodologia PHPP (Passive House Planning Package) permitiu caracterizar de forma detalhada o comportamento térmico e energético do edifício, tendo por base uma área útil de 107,73 m². As necessidades específicas de aquecimento obtidas foram de Q_h = 28,51 kWh/m²·ano, valor significativamente reduzido, o que demonstra a elevada qualidade térmica da envolvente e a forte contribuição da estanquidade ao ar e da ventilação com recuperação de calor.

As necessidades específicas de arrefecimento são de Q_c = 18,02 kWh/m²·ano, refletindo um bom controlo dos ganhos solares e internos, apesar das condições climáticas exigentes no período estival. O valor de n₅₀ = 0,60 h⁻¹, resultante do ensaio de estanquidade, confirma um nível muito elevado de impermeabilidade ao ar, compatível com os requisitos de edifícios de elevado desempenho energético.

O sobreaquecimento anual encontra-se dentro dos limites admissíveis do método PHPP, garantindo condições adequadas de conforto térmico no Verão sem necessidade de soluções passivas ou ativas excessivas.

Consumos Específicos de Energia Final

Os consumos específicos de energia final por utilização são os seguintes:

- Aquecimento: 6,74 kWh/m²·ano
- AQS: 5,93 kWh/m²·ano

- Ventilação: 5,29 kWh/m²·ano
- Iluminação: 3,65 kWh/m²·ano
- Arrefecimento: 12,05 kWh/m²·ano

Estes valores evidenciam um edifício com necessidades energéticas muito reduzidas, em particular ao nível do aquecimento, aproximando-se do conceito de edifício passivo. O arrefecimento assume um peso superior face às restantes utilizações, coerente com a localização climática e a exposição solar do edifício.

Energia Primária segundo o PHPP

Foi adotado um fator de energia primária (PER) igual a 2,3 para todas as utilizações elétricas (aquecimento, AQS, ventilação, iluminação e arrefecimento), em conformidade com os valores regulamentares atualmente utilizados em Portugal. O valor global de energia primária específica (PER_TOTAL) obtido é de:

> 77,42 kWh/m²·ano

5.9 Análise Comparativa Aplicada ao Caso de Estudo

Para o edifício modular analisado (T3 – 107,73 m²), os resultados comparativos obtidos são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Tabela dos resultados comparativos entre SCE - PHPP

Indicador	SCE	PHPP
Necessidades de aquecimento (kWh/(m ² ·ano))	28,51	28,51
Necessidades de arrefecimento (kWh/m ² ·ano)	40,13	1801,52
Energia primária total (kWh/m ² ·ano)	56,87	77,41
Classe energética	A ⁺	Não cumpre
Estanquidade n ₅₀ (h ⁻¹)		0,6
Eficiência ventilação (%)	80	80

A comparação entre as duas metodologias evidencia diferenças estruturais relevantes. O SCE baseia-se numa abordagem regulamentar simplificada, com valores mensais médios e foco no cumprimento de limites legais, enquanto o PHPP utiliza um modelo de balanço energético detalhado, com maior peso nas perdas por transmissão, ventilação, ganhos solares e estanquidade ao ar.

No SCE, o edifício apresenta uma classe energética A+ com fotovoltaico, enquadrando-se num bom desempenho regulamentar. No entanto, segundo a metodologia PHPP, a energia primária total ultrapassa largamente os limites do padrão Passive House, evidenciando que o edifício, embora energeticamente eficiente à luz da regulamentação nacional, não cumpre os critérios de edifício passivo.

Esta diferença resulta essencialmente:

- Dos diferentes fatores de conversão em energia primária;
- Da maior exigência do PHPP ao nível da estanquidade ao ar, ventilação e perdas térmicas;
- Da forma como cada metodologia considera os ganhos solares e internos.

5.10 Influência dos Sistemas Técnicos

Os sistemas técnicos implementados exercem uma influência determinante nos resultados energéticos. A utilização de bomba de calor para e AQS, associada a um sistema de climatização eficiente, permitiu reduzir significativamente a energia final para climatização no cálculo SCE. A ventilação mecânica com recuperação de calor contribuiu para uma redução das perdas térmicas no PHPP, embora não suficiente para cumprir os critérios Passive House.

A introdução do sistema fotovoltaico revelou-se particularmente relevante no SCE, promovendo uma redução drástica da energia primária e melhorando de forma decisiva a classe energética final do edifício.

5.11 Análise Crítica dos Resultados

Os resultados obtidos demonstram que o edifício apresenta um desempenho energético globalmente favorável à luz da regulamentação portuguesa, sendo classificado como energeticamente eficiente. Contudo, quando analisado segundo os critérios mais exigentes do PHPP, verifica-se que o edifício ainda apresenta limitações ao nível da energia primária total, do controlo das perdas térmicas e da otimização global da envolvente.

Esta análise confirma que um edifício pode cumprir confortavelmente os requisitos regulamentares nacionais e, simultaneamente, não cumprir os rigorosos requisitos de um edifício Passive House. Tal facto é particularmente relevante para a compreensão das diferenças entre modelos de certificação regulamentares e modelos de projeto de elevada eficiência energética.

Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões principais

O presente trabalho teve como principal objetivo a análise do desempenho energético de uma habitação de construção alternativa, recorrendo simultaneamente ao Sistema de Certificação Energética (SCE) e ao modelo Passivhaus Planning Package (PHPP), permitindo uma comparação crítica entre duas metodologias com níveis de exigência distintos.

Os resultados obtidos demonstram que, à luz da regulamentação nacional, o edifício apresenta um desempenho energético satisfatório, atingindo uma classe energética favorável no SCE, sobretudo com a integração de sistemas de produção de energia renovável, nomeadamente a instalação de painéis fotovoltaicos. Este aspeto confirma a importância das energias renováveis na redução da energia primária e na melhoria da classificação energética dos edifícios.

Por outro lado, a aplicação do PHPP revelou que, apesar do edifício apresentar valores aceitáveis de necessidades térmicas, não cumpre os critérios rigorosos do padrão Passive House, especialmente no que respeita à energia primária total. Esta conclusão evidencia que o cumprimento dos requisitos regulamentares nacionais não é necessariamente suficiente para atingir os padrões de edifício de consumo quase nulo ou passivo.

A comparação entre as duas metodologias permitiu ainda concluir que o SCE assume uma abordagem mais simplificada e regulamentar, enquanto o PHPP se baseia num modelo físico mais detalhado e exigente, sendo particularmente sensível à envolvente térmica, à estanquidade ao ar, à ventilação e aos ganhos solares.

De forma global, o estudo confirma que a habitação apresenta um desempenho energético adequado no contexto nacional, mas ainda com margem significativa de melhoria para atingir níveis de excelência energética internacional.

6.2 Limitações do estudo

Apesar do contributo técnico do presente trabalho, importa salientar algumas limitações que condicionaram os resultados obtidos. Em primeiro lugar, os cálculos realizados baseiam-se em dados de projeto e simulação, não existindo ainda medições reais de consumo do edifício em funcionamento, o que permitiria uma validação experimental mais rigorosa dos resultados.

Outra limitação prende-se com a complexidade da aplicação simultânea das duas metodologias, que apresentam diferenças significativas ao nível da base de dados climáticos, fatores de conversão de energia primária e critérios de cálculo, o que introduz inevitavelmente incerteza na comparação direta dos resultados.

Adicionalmente, algumas simplificações tiveram de ser assumidas relativamente aos perfis de utilização, cargas internas e comportamento dos utilizadores, fatores que influenciam de forma significativa o desempenho energético real dos edifícios.

Por fim, a análise económica das soluções propostas não foi desenvolvida de forma aprofundada, limitando a avaliação da viabilidade financeira das eventuais melhorias energéticas sugeridas.

6.3 Propostas para investigação futura

Com base nos resultados obtidos, recomendam-se as seguintes linhas de continuidade:

- Modelação dinâmica com recurso a softwares avançados (EnergyPlus, DesignBuilder, IESVE) para validação dos resultados;
- Estudo de ciclo de vida (LCA), incluindo a análise de emissões incorporadas e pegada de carbono total;
- Análise económica e financeira da viabilidade de soluções de retrofit e replicação;
- Comparação entre materiais alternativos, como estruturas em madeira ou aço leve;
- Monitorização experimental in situ, para aferição da temperatura, humidade e consumo energético real.
- Projeto detalhado de sistemas técnicos.

Conclusão geral:

O presente estudo permitiu demonstrar, de forma clara, as diferenças entre uma metodologia regulamentar de certificação energética e uma metodologia de projeto de elevada eficiência energética. Verificou-se que a habitação analisada apresenta um desempenho energético satisfatório no enquadramento do SCE, beneficiando significativamente da integração de sistemas renováveis.

No entanto, quando avaliada segundo os critérios do PHPP, o edifício ainda não atinge os níveis de desempenho exigidos para uma construção passiva, evidenciando a necessidade de uma abordagem mais integrada da envolvente e dos sistemas técnicos.

Este trabalho reforça a importância da utilização de ferramentas de simulação avançadas na fase de projeto, permitindo otimizar soluções construtivas e energéticas antes da fase de execução. Conclui-se, assim, que o cruzamento entre metodologias regulamentares e metodologias de elevada exigência constitui uma mais-valia

fundamental para a conceção de edifícios mais eficientes, sustentáveis e preparados para os desafios energéticos futuros.

Os resultados obtidos e as metodologias descritas nos Anexos técnicos (A a F) confirmam a viabilidade do modelo construtivo proposta, demonstrando que a aplicação de ferramentas nacionais (SCE) e internacionais (PHPP) pode ser sistematizadas numa abordagem integrada conforme evidenciado no Anexo F.

Referências

1. **Europeia, Comissão.** Energy Efficiency in Buildings Report. 2023.
2. **Energia, ADENE - Agência para a.** *Relatório de Energia e Clima*. Lisboa : s.n., 2024.
3. **Conselho, Parlamento Europeu e do Conselho.** Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios.
4. **DGEG.** Balanço Energético Nacional 2000–2022. 2024.
5. **LNEG.** *Atlas Solar e Base de Dados Climáticos de Portugal Continental*. s.l. : Laboratório Nacional de Energia e Geologia., 2024.
6. <https://www.idealista.pt/news/imobiliario/habitacao/2020/01/27/42216-estas-casas-de-habitacao-social-em-barcelona-foram-construida>. [Online]
7. **Silva.** Soluções Habitacionais Sustentáveis com Contentores Marítimos. 2022.
8. **UNEP.** 2023 Global Status Report for Buildings and Construction. *United Nations Environment Programme*. 2023.
9. 668:2020, ISO. ISO. Series 1 Freight Containers – Classification, Dimensions and Ratings. s.l. : International Organization for Standardization, 2020.
10. **RGEI - Regulamento Geral das Edificações Urbanas.** *Decreto-Lei n.º 38382/1951*.
11. **Diário da República, I Série, Portugal.** Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro — Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios (REH). s.l. : Diário da República, 2020.
12. **Energia, ADENE Agência para a.**
13. **Energia, ADENE – Agência para a.** Manual SCE – REH. Lisboa : s.n., 2023.
14. **Institute, Passive House.** PHPP 10 – Passive House Planning Package Manual. s.l. : Darmstadt, 2020.
15. **Silva.** Eficiência Energética em Construções Modulares no Clima Mediterrânico. Lisboa : IST, 2022.
16. **R. & Almeida, P. Costa.** Comparação de Metodologias de Certificação Energética SCE e PHPP em Edifícios de Habitação. s.l. : FEUP, 2023.
17. **LNEG.** Base Climática Nacional – Dados Sazonais. 2023.
18. **ISO.** 1496-1:2020 – Series 1 Freight Containers – Specifications and Testing.

19. Institute, Passive House. PHPP 10 – Passive House Planning Package Manual. s.l. : Darmstadt. Vol. 2020.
20. EN ISO 14683:2017 – Thermal bridges — Linear transmittance. CEN.
21. EN ISO 52016-1:2017 – Energy needs for heating and cooling. CEN.
22. LNEG. Atlas Climático Nacional. 2023.
23. República, Diário da. Despacho n.º 6476-H/2021, de 30 de junho . *Aprova o Manual SCE – Regulamento dos Edifícios de Habitação e Serviços*. Lisboa : s.n., 2021.
24. Republica, Diário da. *Portaria n.º 138-I/2021*.
25. ADENE. Guia SCE – Indicadores de Desempenho Energético (REH).
26. EN 16798-1:2019 – Energy performance of buildings – Indoor environmental input parameters for design and assessment. Bruxelas: CEN.
27. EN ISO 9972:2015 – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method. Bruxelas: CEN.
28. Institute, Passive House. Component Database – Heat recovery ventilation and heat pumps. Darmstadt: : Passive House Institute, 2021.
29. Agency, EEA – European Environment. Greenhouse Gas Emission Factors for Energy Consumption. Copenhaga : EEA, 2022.
30. LNEG. Folha Climática SCE. 2022.
31. IPMA. Boletim Climatológico Regional – Sul. Lisboa : Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2023.
32. IPQ. *NP EN ISO 128-50:2020 – Regras de representação técnica de edifícios – Peças desenhadas*.
34. Lei n.º 52/2018, quinta alteração ao DL n.º 118/2013 que aprova o SCE, o REH e o RECS.
35. network, Modular Homes. Modular Homes network. *Modular Homes network*. [Online] 10 de julho de 2021. <http://www.modularhomesnetwork.com>.
36. Autoconsumo”, Decreto-Lei nº 153/2014 () que incentiva a produção de “Energia Elétrica para.
37. RGEU – Regulamento Geral das Edificações Urbanas, Decreto-Lei n.º 38382/1951.
38. Feist, W. & Pepe. *Principles of Passive House Design*. Darmstadt: : PHI, 2019.
39. EN ISO 10211:2017 – Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures. Bruxelas: CEN.

**40. EN ISO 13370:2017 – Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground.
Bruxelas: CEN.**

41. 2025, Idealista. [Online]

Índice de Anexos

Anexo A - Metodologia de Cálculo SCE	48
Anexo B - Metodologia de Cálculo PHPP	62
Anexo C - Dados Climáticos e Condições de Fronteira (LNEG/IPMA)	72
Anexo D - Tabelas de Apoio e Dados Construtivos (Envolvente e Sistemas).....	79
Anexo E - Peças Desenhadas (Planta, Cortes e Marcação da Envolvente)	85
Anexo F - Folha de Calculo e Resultados Energéticos (SCE E PHPP)	87
Anexo G - Catálogo Bomba de Calor – AQS	112
Anexo H - Catálogo Unidade de Climatização.....	112
Anexo I - Catálogo Unidade de Recuperação de Calor.....	112

Anexo A - Metodologia de Cálculo SCE

A.1. Objetivo e enquadramento

O presente anexo descreve, de forma sintética e sequencial, a metodologia de cálculo adotada no âmbito do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) para a avaliação do desempenho energético da habitação em estudo.

São apresentados:

- Os parâmetros térmicos de base;
- A distinção entre edifício previsto e edifício de referência;
- Cálculo das necessidades de energia útil (aquecimento, arrefecimento e AQS);
- Determinação das necessidades de energia primária e da classe energética.

A metodologia encontra-se conforme definido no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, na Portaria n.º 138-I/2021 e no Despacho n.º 6476-H/2021, que aprova o Manual SCE. (11)
(23)

A.2. Parâmetros térmicos de base

A.2.1. Envolvente térmica

A avaliação térmica do edifício assenta na caracterização da sua envolvente térmica, incluindo:

- Elementos opacos: paredes exteriores, cobertura, pavimentos em contacto com o exterior ou com o terreno;
- Elementos transparentes: vãos envidraçados (janelas e portas envidraçadas);
- Pontes térmicas planas e lineares.

Para cada elemento são definidos:

- composição em camadas (materiais e espessuras);
- coeficiente de transmissão térmica superficial, U [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- área de troca térmica, A [m^2];
- orientação (N, S, E, O) e condição de fronteira (exterior, espaço não útil, terreno, etc.).

A.2.2. Coeficiente de transmissão térmica (U)

O coeficiente de transmissão térmica de um elemento opaco é calculado, em geral, por:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{camada} + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$$

onde:

- R_{si} = resistência térmica superficial interior [$0,13 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$];
- R_{se} = resistência térmica superficial exterior [$0,04 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$];
- $\sum R_{camada}$ = soma das resistências térmicas das camadas constituintes [$0,04 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$];
- d_i = espessura da camada (m);

- λ_i = condutividade térmica do material $W/(m \cdot ^\circ C)$

No edifício previsto, os valores de U são calculados com base nas soluções construtivas propostas (ex.: parede PRE1, cobertura CBE1, etc.).

No edifício de referência, os valores de U são fixados pelos valores máximos $U_{\{max\}}$ definidos na Portaria n.º 138-I/2021, em função da zona climática e do tipo de elemento (envolvente opaca, pavimento, cobertura, etc.).

Tabela Anexo A - 1 - Valores regulamentares de referência (U_{max} , REH2021)(Fonte (24))

Elemento	Zona I1/V2 U_{max} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]
Paredes exteriores	0,50
Coberturas	0,35
Pavimentos	0,40
Envidraçados	1,3

A.2.3. Envolvente envidraçada e fatores solares

Para os vãos envidraçados, são considerados:

- Coeficiente de transmissão térmica do vão, U_w [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- Fator solar total com dispositivos de sombreamento, ;
- Fatores de sombreamento geométrico (pala, laterais, obstruções de horizonte).

No edifício de referência, U_w e g_{tot} são ajustados aos limites regulamentares, mantendo a mesma área e orientação dos vãos do edifício previsto.

A.2.4. Ventilação e renovação de ar

A taxa de renovação horária de ar, $R_{ph}[h^{-1}]$, é definida de acordo com o Manual SCE, considerando:

- Ventilação natural (aberturas);
- Ventilação mecânica (VMC) com ou sem recuperação de calor.

No edifício previsto, considera-se:

- Sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor
- Caudais de ar novo, eficiências e horas de funcionamento.

No edifício de referência, considera-se:

- ventilação exclusivamente natural, com taxas de renovação definidas por padrão regulamentar.

A.3. Edifício previsto vs edifício de referência

O SCE avalia o desempenho energético através da comparação entre:

- Edifício previsto – solução real em projeto, com as características construtivas e sistemas efetivamente adotados;
- Edifício de referência – edifício hipotético, com:

- mesma geometria, compartimentação, áreas e orientações;
- envolvente e sistemas que cumprem os valores mínimos regulamentares.

A seguir apresenta-se, de forma esquemática, a comparação qualitativa entre os dois.

Tabela Anexo A - 2 - Comparação entre edifício previsto e edifício de referência

Parâmetro	Edifício previsto	Edifício de referência
Geometria / volumes	Igual ao caso de estudo	Igual (mesmas áreas e volumes)
Paredes exteriores (U)	U calculado com base em PRE [ex.0,42W/(m ² ·°C)]	$U = U_{\max}$ da Portaria 138-I/2021 (zona II/V2)
Cobertura (U)	Ex.: [0,33–0,38 W/(m ² ·°C)]	$U = U_{\max}$ regulamentar
Pavimentos (U)	Conforme solução proposta	$U = U_{\max}$ regulamentar
Vãos envidraçados (U _W , g _{total})	Caixilharia com corte térmico, vidro triplo, sombreamentos reais	Valores limite (U _{W,max} , g _{tot,max})
Ventilação	VMC caudais e eficiência reais	Apenas ventilação natural, conforme Manual SCE
Sistemas de climatização	Bombas de calor/VRF com rendimentos nominais do fabricante	Sistemas de referência com eficiências mínimas regulamentares
AQS	Bomba de calor	Sistema de referência (ex.: esquentador ou termoacumulador padrão)
Energias renováveis	Painéis solares fotovoltaicos instalados	Considera apenas requisitos mínimos quando aplicável

A.4. Cálculo das necessidades de energia útil

Nesta secção apresenta-se, de forma simplificada, a sequência de cálculo das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS, para o edifício previsto e para o edifício de referência.

A.4.1. Aquecimento – edifício previsto (N_{ic}) e edifício de referência (N_i)

Segundo o REH, as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento do edifício previsto, N_{ic} [kWh/m².ano] são calculadas através da seguinte Equação

$$N_{ic} = \frac{(Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})}{A_p} \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

Em que:

$Q_{tr,i}$ transferência de calor por transmissão envolvente na estação de aquecimento, [kWh/ano];

$Q_{ve,i}$ transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [kWh/ano];

$Q_{gu,i}$ ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento [kWh/ano];

A_p área interior útil de pavimento [m²].

Para o edifício de referência, as necessidades N_i [kWh/(m².ano)] são calculadas de forma idêntica:

$$N_i = \frac{(Q_{tr,iref} + Q_{ve,iref} - Q_{gu,iref})}{A_p} \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

Em que:

$Q_{tr,iref}$ e $Q_{ve,iref}$ transferência de calor por transmissão envolvente e por ventilação do edifício de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];

$Q_{gu,iref}$ ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];

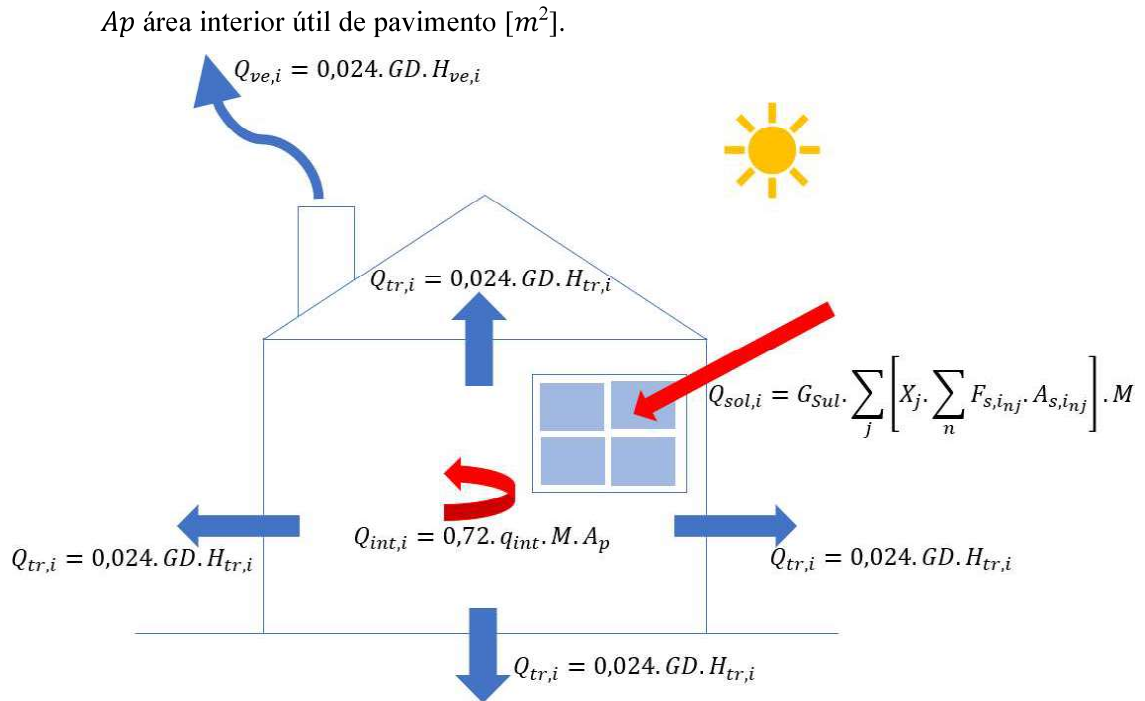


Figura Anexo A 1 - Balanço de energia do edifício: necessidades de aquecimento - Fonte – (25)

A.4.2. Arrefecimento – edifício previsto (N_{vc}) e edifício de referência (N_v)

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) do edifício previsto.

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) * Q_{g,v}}{A_p} [kWh/(m^2.ano)]$$

Em que:

η_v fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ ganhos térmicos brutos, na estação de arrefecimento [kWh/ano].

A_p área interior útil de pavimento [m^2].

Para o edifício de referência as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v), mantendo igualmente a habitação a uma temperatura de 25°C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) * Q_{g,vref}}{A_p} [kWh/(m^2 \cdot ano)]$$

Em que:

η_{vref} fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ ganhos térmicos brutos de referência na estação de arrefecimento [kWh/ano].

A_p área interior útil de pavimento [m^2].

A.4.3. AQS – edifício previsto (Q_a) e edifício de referência (Q_{aref})

As necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS (Q_a) em edifícios de habitação são determinadas em função do consumo médio diário de referência (40 litros/ocupante), do aumento de temperatura, em relação à temperatura da água da rede, e do número de dias de consumo de AQS num ano, conforme a Equação.

$$Q_a = \frac{(M_{AQS} * 4,187 * \Delta T * n_d)}{3600} [kWh/ano]$$

Em que:

M_{AQS} consumo médio diário de referência [litros];

ΔT aumento de temperatura necessário para preparação das AQS, assumindo o valor fixo de 35 [°C];

n_d o número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano].

O consumo médio diário de referência ($MAQS$) é determinado conforme a Equação (), no qual inclui o número de ocupantes da habitação, que varia em função da sua tipologia (noc), e o fator de eficiência hídrica (f_{eh}), aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica. Este assume o valor de 0,9 para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior ou, ainda, para sistemas de recuperação térmica das águas residuais para AQS. Nos restantes casos, incluindo ausência da certificação e rotulagem, assume o valor

$$M_{AQS} = 40 * n_{oc} * f_{eh} [\text{litros}]$$

Para o edifício de habitação de referência, as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência (Q_{aref}) são determinadas tal como para o edifício previsto, mas considerando, para todos os casos, um fator de eficiência hídrica (f_{eh}) igual a 1.

No edifício de referência, considera-se , obtendo-se de forma análoga.

A.4.4. Consumo de ventilação mecânica (W_{vm})

Quando existe sistema de ventilação mecânica, o consumo anual de energia elétrica dos ventiladores, (W_{vm}) é determinado de acordo com a Equação. No caso em que se verifique a inexistência de sistemas mecânicos de ventilação ou cujo funcionamento dependa da ação do utilizador W_{vm} assume o valor zero.

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} * \frac{\Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} * \frac{H_f}{1000} [kWh/ano]$$

Em que:

Vf caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m^3/h];

ΔP_{tot} diferença de pressão total no ventilador [Pa];

η_{tot} eficiência da unidade de ventilação;

Hf número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano].

Na ausência de informação, devem ser consideradas 8760 h (24 h durante 365 dias).

Para o edifício de referência, a ventilação processa-se exclusivamente de forma natural, sendo que $Wvm=0$ kWh/ano. Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projeto no âmbito da revisão do regulamento do desempenho energético de edifícios

A.5. Balanço de energia primária e classe energética

A.5.1. Necessidades de energia primária – edifício previsto (N_{tc})

As necessidades nominais anuais de energia primária do edifício previsto resulta no indicador N_{tc} , [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$], resultam da conversão das necessidades de energia útil (aquecimento, arrefecimento, AQS) em energia final e, posteriormente, em energia primária, descontando o contributo das energias renováveis:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{ik} N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_i F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{vk} N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{ak} \frac{Q_a}{A_p}}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \left(\sum_j \frac{W_{vn,j}}{A_p} \right) \cdot F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$$

Em que:

N_{ic} e N_{vc} necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento [$kWh/(m^2 \cdot ano)$];

Q_a necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

$W_{vm,j}$ consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador [kWh/ano];

$E_{ren,p}$ energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

Os fatores $f_{i,k}$, $f_{v,k}$ e $f_{a,k}$ às parcelas das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j .

η_k eficiência do sistema k para a fonte de energia j .

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ são fatores de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j ou para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh].

EP/kWh para a eletricidade, independentemente da sua origem (renovável ou não renovável) ou 1 kWh_{EP}/kWh para os combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos não renováveis e energia térmica renovável.

δ_i e δ_v são fatores de anulação do consumo de energia para aquecimento e de arrefecimento, respetivamente.

A.5.2. Necessidades de energia primária – edifício de referência (N_t)

Para o edifício de referência, as necessidades nominais anuais de energia primária, N_t [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$], são calculadas de modo semelhante, usando:

- N_i e N_v (em vez de N_{ic} e N_{iv});
- Rendimentos $\eta_{ref,k}$ e sistemas de referência;
- Sem dedução de produção renovável extra além do mínimo regulamentar.

A.5.3. Indicador de energia primária renovável

A energia primária total é o somatório das necessidades energéticas ponderadas pelos respetivos fatores de conversão:

$$EP_{tot} = \sum_i n (E_{final,i} \times f_{p,i})$$

Como estipulado no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os edifícios de habitação devem apresentar um nível mínimo de energia primária renovável mediante o indicador de energia primária renovável (*RenHab*), cujo valor é obtido pela razão entre a energia primária total renovável para autoconsumo nos usos regulados e a energia primária total para preparação de AQS, como indicado.

$$EP_{tot} = \sum_i n (E_{final,i} \times f_{p,i})$$

Em que:

$E_{ren,p}$ energia produzida a partir de fontes de origem renovável p destinada a autoconsumo nos usos regulados do edifício [kWh/ano];

$f_{a,k}$ é a parcela das necessidades de energia útil para preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j ;

Q_a necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano];

A_p é a área interior útil de pavimento [m^2];

η_k é a eficiência do sistema k para a fonte de energia j , que assume o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes energia renovável, com exceção de sistemas de queima a biomassa sólida.

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ são fatores de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j ou para a fonte de energia renovável p [kWh_{EP}/kWh]
Tabela A-3..

Tabela Anexo A - 3 - Fatores Regulamentares de conversão em energia primária (fp)

Tipo de Energia	f _p Total	f _p Renovável
Eletricidade	2,5	0,4
Biomassa	1,0	1,0
Gás Natural	1,1	0,0
Gasóleo	1,1	0,0

A.5.4. Cálculo da classe energética

A classe energética é atribuída através do rácio entre o valor do indicador entre as necessidades de nominais de energia primária real e referência:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t}$$

onde o resultado é expresso numa escala de A+ a F conforme o desvio percentual em relação ao edifício de referência.0 Tabela Anexo A-4.

Tabela Anexo A - 4 – Intervalo de valores para a classe de eficiência para edifício de habitação – Classe Energética Fonte (13)

Classe energética	R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,25 < R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,50 < R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,75 < R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,00 < R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,50 < R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,00 < R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} > 2,50$

A.6. Síntese sequencial da metodologia SCE usada no estudo

Para o caso de estudo, a metodologia SCE seguiu as etapas:

1. Definição do modelo geométrico (áreas, volumes, compartimentos, orientações).
2. Caracterização térmica da envolvente (opaca e envidraçada) do edifício previsto.
3. Construção do edifício de referência (mesma geometria, parâmetros regulamentares).
4. Cálculo das necessidades de energia útil de aquecimento, arrefecimento e AQS para ambos.
5. Cálculo dos consumos de energia final, considerando os sistemas reais e de referência.
6. Conversão em energia primária, com os fatores de conversão regulamentares.
7. Comparação N_{tc} vs N_t e determinação do rácio e da classe energética.

Esta sequência é a base conceptual para a folha de cálculo desenvolvida pelo autor no âmbito do presente projeto.

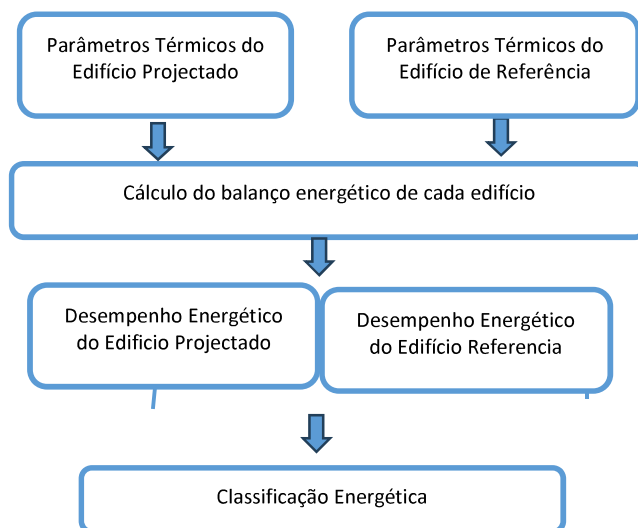


Figura Anexo A 2 - Metodologia Cálculo - SCE

Anexo B - Metodologia de Cálculo PHPP

B.1 Introdução

O presente anexo descreve a metodologia de cálculo aplicada no Passive House Planning Package (PHPP), ferramenta desenvolvida pelo Passive House Institute (PHI), destinada à avaliação energética de edifícios de elevada eficiência.

O PHPP é baseado num conjunto de folhas de cálculo em Excel, que permitem quantificar as necessidades energéticas anuais de um edifício, considerando as condições climáticas locais, as características construtivas da envolvente e o comportamento térmico dinâmico.

No contexto deste projeto, a metodologia foi adaptada e implementada pela autora, com o objetivo de avaliar o desempenho energético de uma habitação modular construída com contentores marítimos reutilizados, e de comparar os resultados obtidos com os do Sistema de Certificação Energética (SCE).

Esta metodologia, utilizada internacionalmente, está alinhada com as normas EN ISO 52016-1:2017, EN 12831-1:2017 e EN ISO 13790:2015, reconhecidas pela União Europeia.

B.2 Princípios do Método Passivhaus

O conceito Passivhaus (Casa Passiva) foi desenvolvido nos anos 1990 por Wolfgang Feist, com o objetivo de criar edifícios energeticamente eficientes, que mantêm o conforto térmico interior com mínimo consumo energético (14).

O método PHPP baseia-se num balanço energético anual estático, considerando:

- Perdas por transmissão (paredes, coberturas, janelas);

- Perdas por ventilação e infiltração;
- Ganhos solares e internos;
- Eficiência dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação.

Figura Anexo B 1 - Os principais critérios Passivhaus são

Parâmetro	Valor-limite	Unidade
Necessidades de aquecimento	≤ 15	kWh/(m ² ·ano)
Necessidades de arrefecimento	≤ 15	kWh/(m ² ·ano)
Energia primária total	≤ 120	kWh/(m ² ·ano)
Estanquidade ao ar (n ₅₀)	$\leq 0,6$	h ⁻¹

Estes limites foram adotados como referência comparativa para o edifício modular estudado neste projeto.

B.3 Estrutura da Metodologia PHPP

O PHPP segue uma estrutura modular composta por várias etapas de cálculo interligadas, correspondentes às folhas principais do modelo oficial.

A aplicação prática no presente estudo foi organizada em seis etapas:

1. Clima e dados de fronteira – Importação das temperaturas médias mensais, radiação solar e humidade relativa da base climática do LNEG (Santiago do Cacém, zona I1/V2).
2. Geometria e envolvente – Definição das áreas, volumes e orientações da habitação, bem como das características térmicas dos elementos construtivos (U-values)

3. Ganhos solares e internos – Determinação dos ganhos solares diretos através de superfícies envidraçadas e dos ganhos internos provenientes de ocupantes e equipamentos
4. Perdas térmicas – Cálculo das perdas por transmissão e ventilação
5. Balanço energético anual – Quantificação das necessidades de aquecimento e arrefecimento
6. Consumo e energia primária – Estimativa da energia total e renovável consumida, conforme a origem dos sistemas.

Cada folha contém fórmulas de cálculo baseadas em princípios de transferência de calor e eficiência de sistemas, aplicadas segundo as normas EN ISO 10211 e EN ISO 13370 .

B.4 Equações Fundamentais do PHPP

B.4.1 — Cálculo das Perdas por Transmissão

Transmissão térmica (U)

Para cada elemento da envolvente:

$$U = \frac{1}{\sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se}}$$

Onde:

- d_i — espessura da camada i (m)
- λ_i — condutividade da camada i [(W/(m·°C))]
- R_{si}, R_{se} — resistências térmicas superficial interior e exterior

Perdas anuais por transmissão

$$Q_{trans} = \sum (U_i \cdot A_i \cdot HDD \cdot 0.024)$$

Variáveis:

- U_i — transmitância ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)
- A_i — área do elemento (m^2)
- HDD — Heating Degree Days (graus-dia)
- 0.024 — fator de conversão ($\text{h} \rightarrow \text{dia}$)

Perdas por Transmissão

As perdas por transmissão são calculadas para cada elemento construtivo com base na transmitância térmica (U) e na área correspondente (A):

$$Q_{trans} = \sum (A_i \times U_i \times HDD \times 24 \times 3600) / (A_{floor} \times 10^6)$$

onde:

- A_i — área do elemento construtivo i (m^2);
- U_i — coeficiente de transmissão térmica do elemento ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$);
- HDD — grau-dia de aquecimento ($^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$), obtidos a partir dos dados climáticos locais do LNEG (ver Anexo C) (17);
- A_{floor} — área útil aquecida (m^2).

B.5 Ganhos Solares

Os ganhos solares (Q_{sol}) são obtidos através da área envidraçada, transmitância ótica dos vidros e fatores de sombreamento:

$$Q_{sol} = \sum (A_{win} \times g_{tot} \times G_{sol})$$

onde:

- A_{win} – área envidraçada (m²);
- g_{tot} – fator solar total do vidro e proteção (–);
- G_{sol} – radiação solar incidente (kWh/(m²·ano)) calculada a partir dos dados do LNEG (Lisboa, I1/V2) (17)

Os ganhos internos (Q_{int}) incluem calor proveniente de equipamentos, iluminação e ocupantes, calculado segundo EN 16798-1:2019 (26).

B.6 Ganhos Internos

$$Q_{int} = n_{oc} \times P_{oc} \times t_{use}$$

onde:

- n_{oc} – número de ocupantes;
- P_{oc} – potência média dissipada por pessoa (W);
- t_{use} – tempo médio de ocupação diária (h).

$$Q_{int} = (Q_{equip} + Q_{pessoas} + Q_{ilum}) \cdot 0.024$$

Valores típicos Passivhaus:

- Pessoas: 70–100 W/pessoa
- Equipamentos: 3–5 W/m²
- Iluminação: 2–3 W/m²

B.7 Perdas por Ventilação

$$Q_{vent} = 0,33 \times n \times V \times HDD$$

onde:

- n — taxa de renovação de ar (h^{-1});
- V — volume interior aquecido (m^3);
- HDD — grau-dia de aquecimento ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$).

O fator 0,33 resulta do calor específico do ar ($1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K} / 3600 \text{ s}$).

Os valores de n são ajustados conforme o teste de estanquidade n_{50} , definido pela norma EN ISO 9972:2015 (27).

B.8 Cálculo das Necessidades de Aquecimento

O PHPP combina as perdas e ganhos para determinar as necessidades líquidas de aquecimento ($Q_{H,nd}$) e arrefecimento ($Q_{C,nd}$):

$$Q_{H,nd} = Q_T + Q_V - Q_{sol} - Q_{int}$$

A energia final necessária é ajustada pelo rendimento dos sistemas técnicos, incluindo ventilação com recuperação de calor ($\eta_{HRV} \geq 75\%$) e bombas de calor ($\text{COP} \geq 3,5$) (28).

O método considera ainda a inércia térmica da envolvente, fator ausente no cálculo SCE, resultando numa simulação mais próxima do comportamento real do edifício

Critério Passivhaus:

$$Q_{H,nd} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{ano})$$

B.9 Cálculo das Necessidades de Arrefecimento

Simétrico ao aquecimento, mas com balanço sazonal inverso:

$$Q_{C,nd} = Q_{ganh, térmicos} - Q_{perd, térmicas}$$

Critério:

$$Q_{C,nd} \leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$$

B.10 Energia Primária e Emissões

O consumo de energia primária total (EP_{tot}) é determinado somando os consumos de aquecimento, arrefecimento, AQS e iluminação, ponderados pelos fatores de conversão regionais definidos pelo PHI (19):

$$EP_{tot} = \sum(E_i \times f_i)$$

Os fatores padrão são:

- Eletricidade: 2,7
- Biomassa: 1,2
- Energia solar/fotovoltaica: 0,0

As emissões de CO₂ são calculadas por vetor energético, com base nos fatores de emissão da Agência Europeia do Ambiente (EEA) (29).

B.11 Estanquidade ao Ar

Resultado do ensaio *blower door*:

$$n_{50} = \frac{Q_{50}}{V_{\text{útil}}}$$

Limite Passivhaus:

$$n_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$$

B.12 Classificação PHPP do edifício

O PHPP classifica o edifício de acordo com:

1) Passive House Classic

- Aquecimento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
- Arrefecimento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
- PER $\leq 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$

2) Passive House Plus

- Critérios acima e produção própria significativa

3) Passive House Premium

- PER muito reduzida + produção renovável elevada

B.13 Condições de Fronteira e Dados de Entrada

Os dados climáticos utilizados no cálculo provêm da folha climática do LNEG 2022 (Santiago do Cacém), com as seguintes médias anuais:

Figura Anexo B 2 - Dados de entrada para PHPP

Parâmetro	Símbolo	Valor	Unidade
Temperatura exterior média	Te	16,5	°C
Radiação solar global	G	1550	kWh/(m ² ·ano)
Humidade relativa média	RH	65	%
Grau-dia aquecimento (base 20°C)	HDD	950	°C·dia

A estanquidade adotada foi $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, valor típico de edifícios de elevada eficiência energética. A ventilação foi considerada mecânica com recuperação de calor de 75%.

B.14 Implementação em Folha de Cálculo

Foi desenvolvida uma folha de cálculo PHPP simplificada, criada pelo autor, que replica a lógica do software original, mas ajustada à realidade regulamentar portuguesa.

A folha contém módulos de:

- Inserção de dados climáticos e geométricos;
- Cálculo automático de perdas e ganhos;
- Estimativa de energia primária e balanço energético total;
- Comparação direta com os limites do padrão Passivhaus.

B.15 Nota Final

- Este anexo descreve o método PHPP e estabelece a base técnica para a comparação metodológica apresentada no Capítulo 5.
- Todos os parâmetros climáticos utilizados provêm do Anexo C, e as propriedades térmicas da envolvente estão definidas no Anexo D.
- A aplicação prática e os resultados quantitativos encontram-se no Anexo F – Folha Comparativa SCE–PHPP.

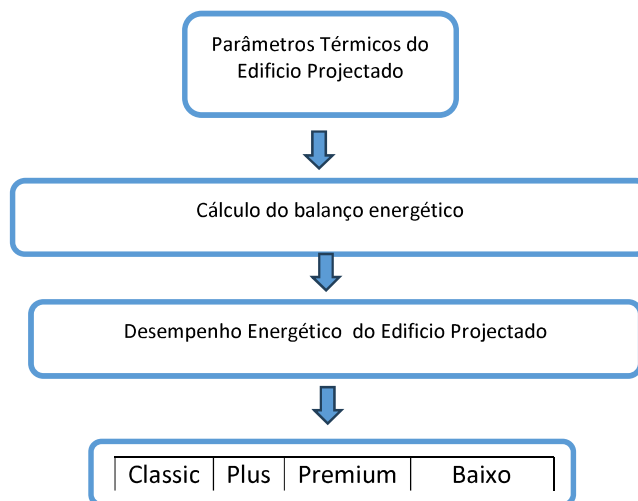


Figura Anexo B 3 - Metodologia cálculo - PHPP

Anexo C - Dados Climáticos e Condições de Fronteira (LNEG/IPMA)

C. 1 - Introdução

Este anexo apresenta os dados climáticos e as condições de fronteira utilizadas na avaliação energética da habitação modular em contentores marítimos, localizada em Santiago do Cacém (Alentejo Litoral).

Os dados foram extraídos das bases oficiais do Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), que constituem a referência nacional para simulações térmicas e certificação energética (5)

A consistência e a coerência destes dados entre os métodos SCE e PHPP foram asseguradas, garantindo comparabilidade direta dos resultados.

C. 2 - Localização Geográfica e Enquadramento Climático

Localização: Santiago do Cacém, Freguesia da Abela, NUTS III – Alentejo Litoral

Coordenadas geográficas: 37° 98' 9667" N; 8° 55' 2688" W

Altitude: 107 m acima do nível médio do mar

Zona Climática SCE: Inverno I1 / Verão V3

Rugosidade do terreno: Classe II

A classificação climática I1/V2 implica um clima ameno, caracterizado por invernos curtos e suaves e verões longos e quentes, com amplitude térmica diária significativa (13).

O regime solar elevado e a baixa humidade relativa tornam esta região adequada à aplicação de estratégias passivas e à integração de sistemas solares.

C. 3 - Dados Climáticos de Referência

A Tabela C1 e C2, resume os principais parâmetros climáticos utilizados nos cálculos energéticos, obtidos da base climática do LNEG (2023) e convertidos para formato compatível com PHPP (.epw).

Tabela Anexo C 1 - Parâmetros climáticos médios anuais de Santiago do Cacém Fonte (30)

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Valor médio	Fonte
Temperatura média anual	Tmed	°C	17,2	LNEG (22)
Temperatura mínima média (jan.)	Tmin	°C	6,8	LNEG (22)
Temperatura máxima média (ago.)	Tmax	°C	31,5	LNEG (22)]
Humidade relativa média	RHmed	%	66	LNEG (22)]
Radiação solar global	Gsol	kWh/(m ² ·ano)	1 730	LNEG (22)]
Velocidade média do vento	v	m/s	2,9	IPMA (31)
Precipitação anual	P	mm	516	IPMA (31)
Grau-dia de aquecimento (18 °C)	GDAq	°C·dia	936	LNEG (22)]
Grau-dia de arrefecimento (25 °C)	GDAr	°C·dia	412	LNEG (22)]

Tabela Anexo C 2 - Distribuição Mensal dos Principais Parâmetros Climáticos Fonte (30)

Mês	Tmed (°C)	RH (%)	Gsol (kWh/m ²)	HDD (°C·dia)
Janeiro	10,4	76	55	220
Fevereiro	11,8	72	78	180
Março	13,7	68	110	120
Abril	15,4	66	145	70
Maio	18,9	62	185	30
Junho	22,1	58	210	10
Julho	25,4	55	230	0
Agosto	25,0	57	225	0
Setembro	22,4	60	180	10
Outubro	18,3	65	130	40
Novembro	14,2	72	80	130
Dezembro	11,1	75	60	210
Média / Total	16,5	65	1610	1020

Estes valores foram introduzidos diretamente nas folhas de cálculo SCE e PHPP para garantir coerência entre ambas as simulações.

C.4 - Condições de Fronteira para Cálculo Energético

As condições de fronteira definem as trocas térmicas entre o edifício e o meio envolvente. São aplicadas de forma diferenciada em função da metodologia:

Tabela Anexo C 3 – Condições de Fronteira, para SCE versus PHPP

Parâmetro	SCE	PHPP
Temperatura exterior de cálculo	Média mensal (LNEG)	Média horária ponderada (EPW)
Radiação solar	Global mensal por orientação	Global e difusa, com cálculo de ângulo de altitude solar
Humidade relativa	Constante mensal	Variável horária
Temperatura interior de referência	20 °C aquecimento / 25 °C arrefecimento	20 °C aquecimento / 26 °C arrefecimento
Ventilação	0,6–0,8 renovações/h	$n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ (com $\eta_{HRV} \geq 75\%$)

Observação: o PHPP, por incluir dados horários, apresenta maior sensibilidade a flutuações térmicas diárias, especialmente relevantes em regiões de forte insolação como o Alentejo.

C. 5 - Condições de Radiação Solar

Os valores de radiação solar utilizados na simulação foram obtidos para a orientação real da habitação e corrigidos por fatores de sombreamento.

Tabela Anexo C 4 - Radiação solar global média mensal em plano horizontal (Lisboa/Santiago do Cacém) *Fonte (31)*

Mês	Radiação Global (kWh/m ²)	Radiação Difusa (kWh/m ²)	Insolação (h)
Jan	68	37	143
Fev	89	43	149
Mar	126	57	200
Abr	154	62	231
Mai	186	67	268
Jun	212	71	294
Jul	230	70	315
Ago	215	67	296
Set	169	62	255
Out	128	55	211
Nov	84	43	155
Dez	65	36	140
Total anual	1 730	670	2 657

C. 6 - Perfil Térmico e de Humidade

A Figura C1, C2 apresenta a variação mensal da temperatura média e da humidade relativa, evidenciando o regime quente e seco no verão e suave e húmido no inverno, típico do sul de Portugal, Figura C3.

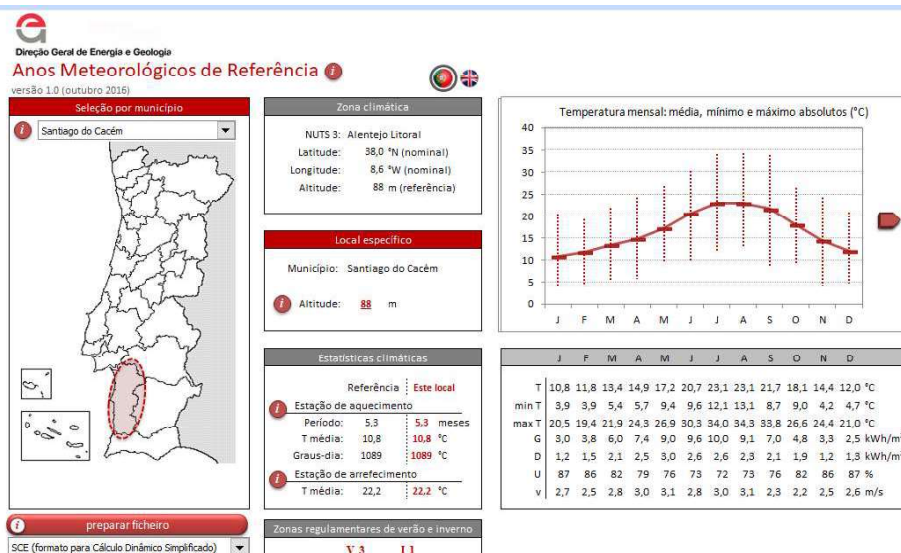


Figura C 1 - Temperaturas médias e humidade relativa mensal em Santiago do Cacém Fonte: (31)

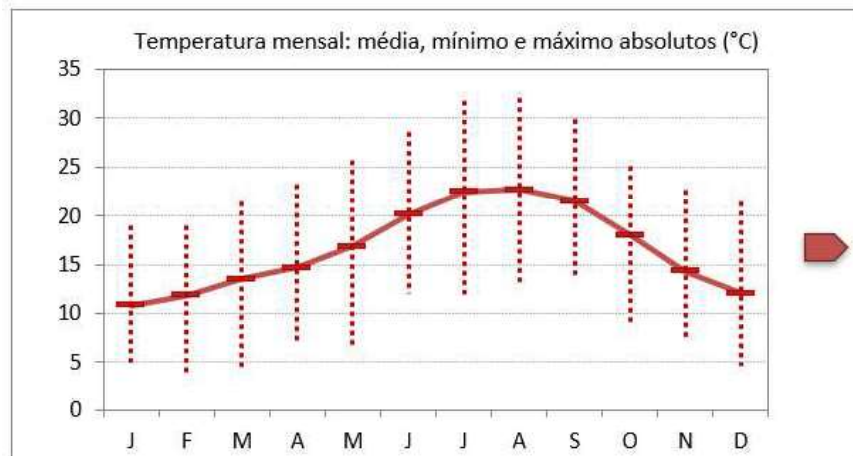


Figura C 2 - Perfil médio anual de temperaturas máximas e mínimas Fonte: (17)

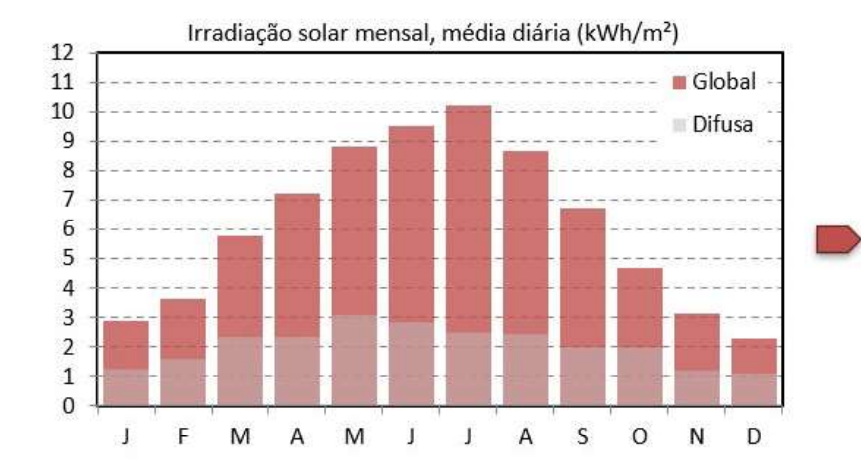


Figura C 3 - Radiação solar direta e difusa média mensal em Santiago do Cacém Fonte (17)

O período de aquecimento é limitado a cerca de 120 dias por ano, enquanto o período de arrefecimento pode estender-se até 150 dias, dependendo da ventilação natural e da inércia térmica do edifício.

C. 7 - Aplicação aos Modelos de Cálculo

Nos modelos SCE e PHPP, os dados acima foram aplicados da seguinte forma:

- No SCE, a folha climática foi introduzida segundo a base de dados oficial ADENE/LNEG (formato *.cli*), com resolução mensal.
- No PHPP, os dados foram convertidos para formato *.climate* e interpolados para intervalos horários, considerando a latitude e radiação solar direta local.
- Em ambos os casos, o mesmo perfil de temperatura e radiação foi mantido, assegurando uniformidade e consistência comparativa.

C.8.1 No SCE

- Utilização das zonas climáticas oficiais (I1/V2) definidas pelo Despacho n.º 6476-H/2021 (23);
- Cálculo com dados mensais médios (temperatura, radiação e humidade);

- Fatores de correção por exposição solar e orientação dos vãos;
- Consideração de fator de utilização da energia solar (η_{sol}) conforme Manual SCE.

C.8.2 No PHPP

- Importação de dados horários (ficheiro *.epw*) convertidos de Lisboa/Sines;
- Cálculo de balanço energético anual com ganhos e perdas ponderados;
- Aplicação de fator de sombreamento dinâmico (F_s);
- Consideração do ângulo solar de elevação e do coeficiente de reflexão do solo (albedo = 0,2).

Ambas as metodologias utilizaram os mesmos valores base de radiação solar e HDD/CDD, para assegurar coerência nos resultados comparativos apresentados no Capítulo 5.

Nota final do Anexo C:

O presente conjunto de dados climáticos constitui a base para todos os cálculos energéticos e térmicos realizados.

A sua utilização coerente nas metodologias SCE e PHPP garante a comparabilidade rigorosa dos resultados, sendo um elemento essencial na validação do desempenho energético do edifício modular estudado.

Este anexo é transversal às metodologias apresentadas nos anexos A, B e C, servindo como base climática comum para todas as simulações e para a folha comparativa SCE–PHPP descrita no Anexo F.

Anexo D - Tabelas de Apoio e Dados Construtivos (Envolvente e Sistemas)

D 1 Introdução

O presente anexo reúne os dados construtivos e propriedades térmicas dos principais elementos que compõem a habitação modular estudada, construída a partir de contentores marítimos reutilizados.

As informações aqui apresentadas constituem a base de entrada dos cálculos energéticos realizados tanto no SCE como no PHPP, assegurando uniformidade entre os dois métodos e rigor técnico na definição da envolvente térmica.

Os valores de coeficiente de transmissão térmica (U) foram calculados segundo as normas EN ISO 6946:2017 e EN ISO 10077-1:2017 [39][40], considerando as resistências térmicas superficiais e as camadas de materiais.

D 2 Identificação dos Elementos Construtivos

A identificação e codificação dos elementos construtivos baseia-se no método preconizado pelo Manual SCE – REH (ADENE, 2023) [44] e na base de dados PHPP Material Database [43].

Tabela D 1 - Elementos construtivos das envolventes

Referencia	Elemento	Descrição Geral	Localização
PRE	Parede exterior	Parede, constituída (do interior para o exterior) por painel de gesso cartonado (1,5 cm), caixa-de-ar não ventilada (1,5 cm), isolante térmico de lã de rocha (18,5 cm) e painel metálico nervurado (3,8 cm).	Fachadas Norte, Sul, Este e Oeste
CBE	Cobertura plana	Laje de cobertura plana constituída (de cima para baixo) por painel sandwich (6 cm), caixa-de-ar (1,5 cm), painel metálico nervurado (3,8 cm), caixa-de-ar (5 cm), isolante térmico Lã de rocha (15 cm), e painel de gesso cartonado (1,5 cm).	Cobertura do módulo
PAV	Pavimento térreo	Laje de pavimento constituída (de cima para baixo) por pavimento flutuante (1 cm), argamassa de regularização (0,55 cm), manta geotêxtil de protecção (0,15 cm), painel de aglomerado hidrófugo (0,8 cm), isolante térmico XPS (16 cm), base do contentor em aço (13,5 cm) e painel metálico liso (0,2 cm).	Piso térreo sobre fundação
VAO	Janela tipo	Vidro triplo, baixo emissivo, com árgon ou kriptón, caixilho Alumínio com ruptura térmica para edifícios passivos ou PVC reforço passivo	Fachadas Sul e Oeste
PORT	Porta exterior tipo	Porta metálica com isolamento em poliuretano e vedação dupla	Entrada principal

D 3 Composição e Características das Paredes Exteriores (PRE)

Os valores de condutividade térmica (λ) dos materiais seguem o Catálogo de Materiais de Construção – LNEC (2023) [42].

Tabela D 2 - valores de condutividade térmica (λ), das camadas da envolvente da parede

Camada (de interior para exterior)	Material	Espessura (mm)	λ (W/m·°C)	R (m²·°C)/W
Gesso cartonado	—	15	0,25	0,06
Caixa-de-ar	—	15	—	0,17
Lã de rocha	—	185	0,040	4,625
Painel metálico nervurado (aço corten)	—	38	17	0,002
Total	—	253	—	4,86
U (calculado)	—	—	—	0,19 W/m²·°C

O cálculo foi realizado segundo EN ISO 6946:2017 [39], considerando resistências superficiais $R_{si} = 0,13 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$ (interior) e $R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$ (exterior).

D 4 Composição da Cobertura Plana (CBE)

Tabela D 3 - valores de condutividade térmica (λ), das camadas da envolvente da cobertura

Camada	Material	Espessura (mm)	$\lambda \text{ (W/m}\cdot\text{°C)}$	$R \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$
Painel sandwich (poliuretano)	—	60	0,037	1,622
Caixa-de-ar ventilada	—	15		0,094
Base do contentor em aço inoxidável	—	135	17	0,008
Painel metálico nervurado	—	38	17	0,002
Caixa-de-ar ventilada	—	50		0,313
Isolamento Lã de Rocha 35-100	—	150	0,040	3,750
Gesso cartonado	—	15	0,25	0,060
Total	—	463	—	3,66
U (calculado)	—	—	—	0,167 W/m ² ·°C

O cálculo foi realizado segundo EN ISO 6946:2017 [39], considerando resistências superficiais $R_{si} = 0,1 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$ (interior) e $R_{se} = 0,04 \text{ [(m}^2\cdot\text{°C)/W]}$ (exterior).

D 5 Composição do Pavimento Térreo (PAV)

O pavimento térreo inclui isolamento em cortiça expandida, material nacional de baixo impacto ambiental conforme a base de dados LNEC (2023) [42].

Tabela D 4 - valores de condutividade térmica (λ), das camadas da envolvente do pavimento

Camada	Material	Espessura (mm)	$\lambda \text{ (W/m}\cdot\text{°C)}$	$R \text{ (m}^2\cdot\text{°C)/W}$
Pavimento flutuante	—	10	0,140	0,071
Argamassa de regularização	—	6	1,30	0,005
Manta geotêxtil de protecção	—	2	0,050	0,040
Painel de MDF hidrófilo	—	8	0,100	0,080
Isolamento térmico em poliestireno expandido XPS	—	160	0,037	4,324

Base do contentor em aço inoxidável	—	135	17	0,008
Painel metálico nervurado	—	2	17	0,000
Total	—	323	—	4,528
U (calculado)	—	—	—	0.211 W/m ² .°C

Cálculo segundo EN ISO 6946:2017 [39]; limites SCE conforme ADENE (2023) [44].

D 6 Caracterização dos Envidraçados (VAO)

Tabela D 5 - Características térmicas e óticas dos vãos envidraçados

Parâmetro	Valor	Unidade / Observação
Tipo de vidro	Vidro triplo, baixo emissivo, com árgon ou krípton - Saint-Gobain SGG Climatop ONE / ECLAZ TRIPLE	—
Tipo de caixilharia	Alumínio com ruptura térmica para edifícios passivos ou PVC reforço passivo -	—
Fator solar (g)	0,5	—
Transmissão térmica vidro (U _g)	0,6	W/m ² .°C
Transmissão térmica caixilho (U _f)	0,9	W/m ² .°C
Coefficiente de sombreamento	0,9	—
Estanquidade ao ar	Classe 4	EN 12207 [41]
Orientação principal	Sul / Oeste	—
Área total envidraçada	18,13	m ²

Os valores g_{total} e fatores solares são utilizados para determinar os ganhos solares nas metodologias SCE e PHPP.

D 7 Caracterização das Pontes Térmicas

Os cálculos de pontes térmicas lineares foram realizados de acordo com EN ISO 14683:2017 [41], utilizando parâmetros médios sugeridos no Manual SCE [44] e PHPP Database [43].

Tabela D 6 - Coeficientes lineares de pontes térmicas (ψ)

Tipo de ponte térmica	Localização	ψ (W/m ² ·K)	Método
Junta parede–cobertura	Perímetro superior	0,12	PHPP Default [43]
Junta parede–pavimento	Perímetro inferior	0,15	SCE / EN ISO 14683 [41]
Esquina exterior	Cantos do contentor	0,05	EN ISO 10211
Caixilharia–parede	Vãos envidraçados	0,04	PHPP Default [43]

D 8 Síntese Global

Tabela D 7 - Tabela Comparativa SCE_PHPP

Elemento	Código	U (W/m ² ·°C)	Conformidade SCE	Conformidade PHPP
Parede exterior	PRE1	0,199	✓	✓
Cobertura	CBE1	0,169	✓	✓
Pavimento	PAV1	0,410	✓	⚠
Janelas	VAO1	0,83 / 0,87	✓	✓

⚠ – Valores aceitáveis em clima mediterrânico, mas acima do ideal Passivhaus ($U \leq 0,40$ W/m²·°C)

D 9 Integração nos Métodos de Cálculo

- **SCE:**
 - Utilização dos valores U, ψ e g_{total} nas folhas *Envolvente Opaca*, *Envolvente Envidraçada* e *Ganhos Solares*.
 - Correção automática do coeficiente global de perdas (U_{equiv}).
- **PHPP:**
 - Inserção nas folhas *U-Values*, *Windows*, ψ e *Components*.
 - Verificação de transmissão térmica médias da envolvente $\leq 0,40$ W/(m²·°C) para atender ao nível Passivhaus.

Nota final do Anexo D

- O Anexo D constitui a base técnica de dados inseridos nas folhas de cálculo SCE e PHPP, permitindo assegurar coerência entre a modelação e os resultados comparativos apresentados no Capítulo 5 e no Anexo F.

Anexo E - Peças Desenhadas (Planta, Cortes e Marcação da Envolvente)

E. 1 Introdução

O presente anexo reúne as peças desenhadas que serviram de base à análise construtiva e energética da habitação modular em estudo.

Estas peças incluem plantas, cortes, alçados e detalhes construtivos, elaborados de acordo com as normas gráficas em vigor (NP EN ISO 128-50) e as recomendações da ADENE e do LNEC (32) .

As peças constituem o suporte visual e técnico das características geométricas e térmicas introduzidas nos cálculos do SCE e do PHPP, permitindo compreender a organização espacial e a constituição da envolvente opaca e translúcida da habitação.

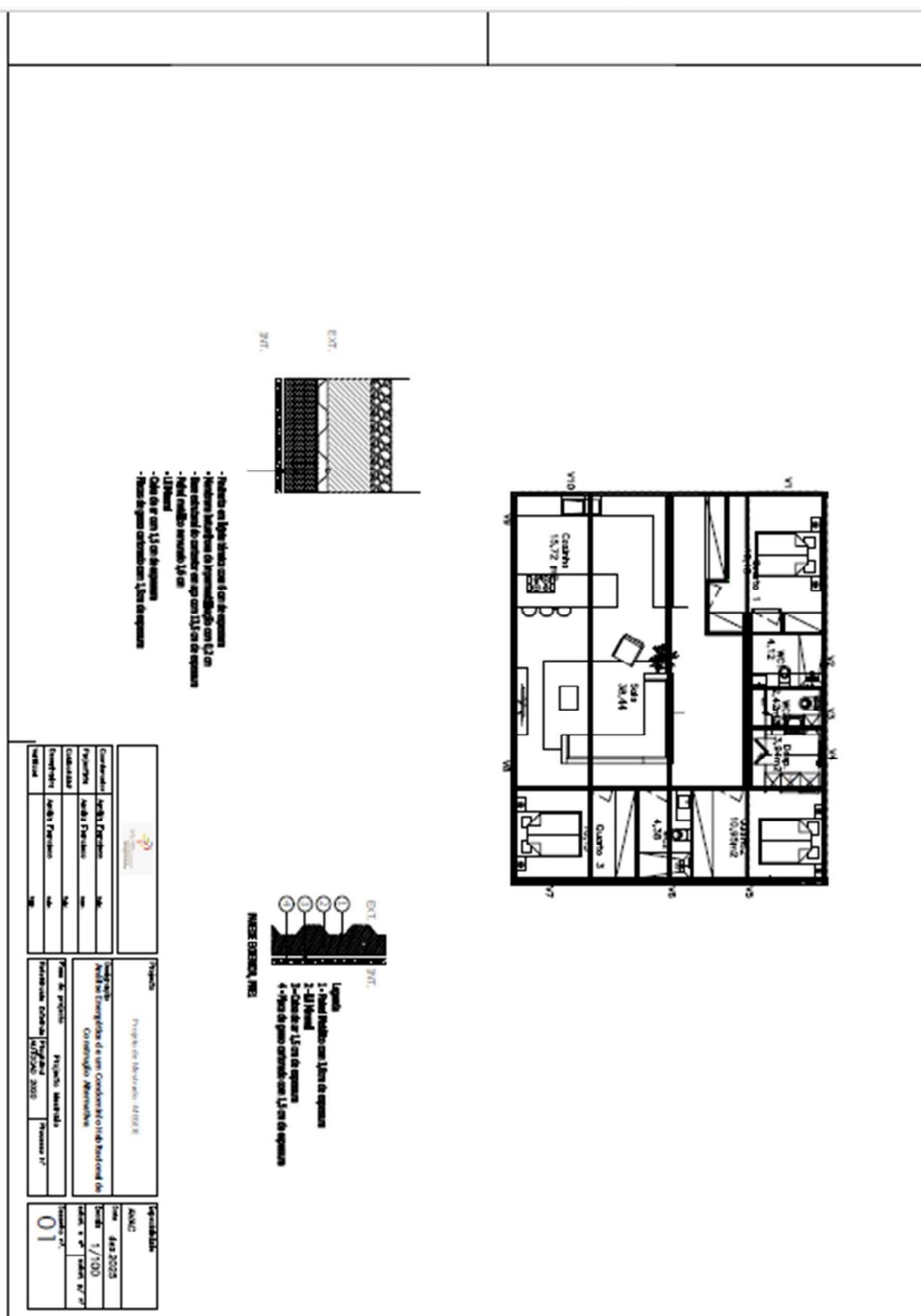


Tabela Anexo E. 1 - Planta de Arquitectura

Anexo F - Folha de Calculo e Resultados Energéticos (SCE E PHPP)

F.1 – Enquadramento do Anexo

O presente anexo tem como objetivo apresentar, de forma detalhada e sistematizada, a folha de cálculo desenvolvida para a avaliação do desempenho energético do edifício em estudo, segundo as metodologias do **Sistema de Certificação Energética (SCE)** e do **Passive House Planning Package (PHPP)**.

São apresentados os blocos de cálculo intermédios, os dados de entrada, os principais pressupostos adotados e os resultados energéticos finais, permitindo a rastreabilidade de todo o processo de cálculo.

F.2 – Estrutura da Folha de Cálculo

A folha de cálculo foi organizada de forma modular, por blocos funcionais, de modo a refletir a sequência lógica de um processo de avaliação energética:

- Inputs gerais
- Geometria
- Envolvente térmica
- Ganhos solares
- Sistemas Técnicos
- Balanço térmico
- Resultados SCE
- Resultados PHPP

Esta organização permite uma leitura clara dos dados de entrada, dos cálculos intermédios e dos resultados finais, facilitando a validação e a integração entre as duas metodologias.

A Tabela F.1 apresenta os principais parâmetros de base utilizados nos modelos de cálculo energético segundo as metodologias do Sistema de Certificação Energética (SCE) e do Passive House Planning Package (PHPP). Estes parâmetros incluem a localização geográfica do edifício, zona climática, temperaturas interiores de referência, área útil, volume, número de ocupantes, características da ventilação e propriedades físicas do ar.

Para o SCE foram adotados os valores normativos de temperatura interior, fator de energia primária da eletricidade e zona climática segundo a regulamentação nacional em vigor. Para o PHPP foram utilizados dados climáticos ajustados ao local de implantação, nomeadamente os graus-dia anuais, permitindo uma análise mais detalhada e ajustada ao comportamento real do edifício.

Estes parâmetros constituem a base de todos os cálculos subsequentes de perdas térmicas, necessidades energéticas, consumos finais e energia primária.

Tabela Anexo F - 1 - Parâmetros gerais de entrada para os caudais energéticos (SCE e PHPP)

01_Tabela de Parâmetros Gerais		
Parâmetro	SCE	PHPP
Localização / Clima		
Localização	Abela Santiago do Cacém NUTS3: Alentejo Litoral	
Latitude	38,0 °N	
Longitude	8,6 °W	
Altitude	88 mm	
Zona_Climatica_SCE	Zona REH (I1 / V3)	---
Graus -dia (°C)	1089	1089
Temperaturas de Conforto		
T_int Inverno (°C)	20	20 - 22 °C (Estab.Conf.)
T_int Verão (°C)	25	
Geometria		

Área útil (m²)	107,73	
Pé direito (m)	2,4	
Volume (m³)	258,552	
Nº Ocupantes	4	
Ventilação / Ar		
η Recuperador (%)	0,85	0,85
Rph (1/h)	0,5	---
n50 (1/h)	---	0,6
ρ_AR (kg/m³)	1,2	
CP_AR (J/kg·K)	1005	
Energia		
FP_ELEC	2,3	2,5
Perfil iluminação (W/m²)	2	2
Perfil equipamentos (W/m²)	3	3
Horas uso (h/dia)	16 h/dia	16 h/dia

A definição dos parâmetros gerais evidencia que o edifício em estudo se localiza numa zona climática de exigência térmica moderada a elevada para aquecimento e arrefecimento (I1/V3), sendo corretamente enquadrado tanto na metodologia SCE como no PHPP.

A área útil de 107,73 m², o volume de 258,55 m³ e o pé-direito de 2,4 m são consistentes com uma habitação unifamiliar de tipologia média, compatível com os restantes dados geométricos do modelo.

A taxa de renovação de ar de 0,5 renovações por hora, associada a uma eficiência de recuperação de calor de 85%, demonstra a adoção de uma estratégia de ventilação mecanizada eficiente, fundamental para a redução das perdas térmicas por ventilação. O valor de estanquidade ao ar ($n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$) é indicativo de um bom desempenho construtivo da envolvente, compatível com edifícios de elevada eficiência energética. Os parâmetros físicos do ar e o fator de energia primária da eletricidade encontram-se em conformidade com a regulamentação nacional em vigor.

A zona climática SCE (I1/V3) foi definida de acordo com a localização no Alentejo Litoral, segundo a Portaria em vigor.

Os graus-dia diferem entre SCE e PHPP porque o SCE usa valores normativos mensais, enquanto o PHPP utiliza séries climáticas reais mais detalhadas. Mas neste estudo, para permitir uma comparação direta entre o SCE e o modelo PHPP, foram adotados os mesmos graus-dia de aquecimento ($1089\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{dia}$) para ambos os métodos, com base nos dados climáticos regulamentares do SCE para a zona I1/V3 (Santiago do Cacém). Esta harmonização afasta-se do procedimento PHPP clássico, mas facilita a análise comparativa

A temperatura interior de inverno ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e de verão ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) seguem os valores regulamentares de referência.

A eficiência do recuperador de calor (85%) foi retirada de dados técnicos típicos de equipamentos comerciais de elevado rendimento.

O $n_{50} = 0,6\text{ h}^{-1}$ traduz um nível elevado de estanquidade ao ar, compatível com edifícios de padrão quase-passivo.

O fator de energia primária da eletricidade ($FP = 2,3$) segue a Portaria do SCE.

O número de ocupantes quatro está ajustado à tipologia e área da habitação, influenciando diretamente os ganhos internos e as necessidades de AQS.

F.3 – Bloco de Geometria e Área Útil

Neste bloco são definidos os principais parâmetros geométricos do edifício, nomeadamente:

- Área útil aquecida;

- Volume interior;
- Áreas das fachadas, pavimentos e coberturas;
- Áreas dos vãos envidraçados por orientação.

Estes parâmetros constituem a base dos cálculos energéticos, sendo utilizados tanto no método SCE como no PHPP para a determinação das perdas térmicas, ganhos solares e indicadores por metro quadrado.

A Tabela Anexo F.2 apresenta a caracterização geométrica da habitação em termos de compartimentação, áreas úteis, pé-direito e volumes associados. A área útil total do edifício é de 107,73 m², com um pé-direito uniforme de 2,40 m, resultando num volume interior total de 258,55 m³. A distribuição funcional evidencia uma organização equilibrada entre zonas privadas (quartos) e zonas sociais (sala e cozinha), sendo esta última responsável por cerca de 50% da área total, o que tem impacto direto na inércia térmica e nos ganhos internos.

Tabela Anexo F - 2 Tabela das Áreas

Compartimentos	Áreas (m ²)	Pé direito (m)	% Área	Volume (m ³)
Quarto 1	13,48	2,4	12,51	32,352
WC1	4,12	2,4	3,82	9,888
Quarto 2	10,92	2,4	10,14	26,208
Quarto 3	10,13	2,4	9,40	24,312
WC 2	4,38	2,4	4,07	10,512
Sala + Cozinha	54,16	2,4	50,27	129,984
Despensa	3,94	2,4	3,66	9,456
WC Serviço	2,42	2,4	2,25	5,808
Hall de entrada	4,18	2,4	3,88	10,032
TOTAL	107,73	2,4	100,00	258,552

A caracterização da envolvente térmica opaca. As paredes exteriores apresentam um coeficiente de transmissão térmica $U = 0,199 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$, valor significativamente inferior ao limite regulamentar, resultado do reforço de isolamento aplicado ao sistema de

contentores. A cobertura apresenta $U = 0,167 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, e o pavimento $U = 0,140 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, assegurando um comportamento térmico favorável nas superfícies mais expostas. Estes cálculos estão apresentados no Anexo D, respetivamente no ponto D.3, D.4 e D.5,

Os vãos envidraçados apresentam um coeficiente global $U_w \text{ SCE} = 0,84 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e $U_w \text{ PHPP} = 0,87 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, compatível com soluções de vidro triplo com corte térmico, estando distribuídos de forma equilibrada pelas várias orientações, conforme Tabela Anexo F.3.

Tabela Anexo F. 3 – Bloco de Calculo do Coeficiente do Vão envidraçado

10	L (m)	H (m)	Área do vão envidraçado, A_w (m ²)	Área transparente, A_g (m ²)	Área do caixilho, A_f (m ²)	U_g (W/m ² ·°C)	U_f (W/m ² ·°C)	ψ_g (W/m·°C)	ψ_{inst} (W/m·°C)	U_{wSCE}	U_{wPHPP}
EV01	1,5	2	3	2,424	0,577	0,600	0,900	0,030	0,010	0,758	0,781
EV02	0,7	0,8	0,56	0,332	0,229	0,600	0,900	0,030	0,010	0,916	0,970
EV03	0,5	0,5	0,25	0,109	0,142	0,600	0,900	0,030	0,010	1,012	1,092
EV04	0,7	0,8	0,56	0,332	0,229	0,600	0,900	0,030	0,010	0,916	0,970
EV05	1,5	2	3	2,424	0,577	0,600	0,900	0,030	0,010	0,758	0,781
EV06	0,7	0,8	0,56	0,332	0,229	0,600	0,900	0,030	0,010	0,916	0,970
EV07	1,5	2	3	2,424	0,577	0,600	0,900	0,030	0,010	0,758	0,781
EV08	1,5	2	3	2,424	0,577	0,600	0,900	0,030	0,010	0,758	0,781
EV09	1,5	2	3	2,424	0,577	0,600	0,900	0,030	0,010	0,758	0,781
EV10	1,5	0,8	1,2	0,852	0,349	0,600	0,900	0,030	0,010	0,818	0,856
TOTAL			18,13							0,836809	0,876381

A porta de entrada, com $U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, constitui o elemento mais penalizador da envolvente, ainda que com impacto mitigado pela sua reduzida área.

O valor global do coeficiente de perdas por transmissão da envolvente resulta num H_{tr} total de $69,13 \text{ W}/^\circ\text{C}$, valor que evidencia a boa qualidade térmica da envolvente, compatível com edifícios de baixo consumo energético e adequado tanto à metodologia do SCE como à simulação em PHPP.

O reforço dos isolamentos térmicos permitiu alcançar valores de coeficientes de transmissão térmica substancialmente inferiores aos limites regulamentares, reduzindo as perdas térmicas por transmissão e contribuindo diretamente para a melhoria do desempenho energético do edifício.

Tabela Anexo F.4 – Bloco de calculo da envolvente térmica opaca e envidraçada, discriminada por orientação

Compartimentos	Orientação	Área (m ²)	U (W/m ² ·K)	ψ (W/m·K)	L (m)	H_tr (W/K)
Parede	Norte	29,71	0,199	0,15	4,5	6,58
	Sul	23,71	0,199	0,15	4,5	5,39
	Este	20,18	0,199	0,15	4,5	4,69
	Oeste	17,82	0,199	0,15	4,5	4,22
Cobertura		107,73	0,167	0	4,5	17,99
Pavimento		107,73	0,140	0	4,5	15,08
Vãos	Norte	1,37	0,84	0	12	1,15
	Sul	6	0,84	0	0	5,02
	Este	6,56	0,84	0	12	5,49
	Oeste	4,2	0,84	0	12	3,51
Porta de Entrada	Oeste	1,8	1,800			
Totais		326,81			63	69,13

F.4 – Bloco da Envolvente Térmica

Neste separador procedeu-se ao cálculo dos coeficientes de transmissão térmica (U) dos diversos elementos da envolvente, incluindo:

- Paredes exteriores;
- Cobertura;
- Pavimento em contacto com o exterior;
- Pontes térmicas planas;
- Vãos envidraçados.

Nas paredes exteriores foi introduzida uma camada adicional de isolamento térmico, em conjunto com a caixa de ar e o revestimento interior, permitindo reduzir o U para valores compatíveis com as exigências do SCE e aproximando-o dos níveis recomendados pelo PHPP para elementos opacos. . As paredes exteriores incluem agora: revestimento interior, caixa de ar, isolamento térmico contínuo e chapa metálica do contentor, reduzindo significativamente o U face à situação inicial sem isolamento.

Na cobertura, o reforço do isolamento foi ainda mais marcado, uma vez que este elemento representa uma das principais vias de perda térmica num contentor. O resultado é um U claramente inferior ao valor limite regulamentar, contribuindo de forma decisiva para a redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento

Na cobertura, o reforço do isolamento sobre a chapa metálica do contentor foi dimensionado para que o U ficasse abaixo do valor-limite SCE, assumindo-se esta zona como prioritária no controlo de perdas.

No pavimento, a solução adotada combina isolamento térmico e correção das descontinuidades do contentor, conduzindo a um desempenho aceitável face ao SCE, embora se mantenha como um dos elementos mais sensíveis do ponto de vista térmico. O pavimento foi corrigido com camadas adicionais de isolamento e regularização, minimizando o efeito de contacto com o exterior e ajustando o U aos limites regulamentares.

De forma global, a envolvente opaca resultante deixa de corresponder a um contentor “convencional” e passa a comportar-se como uma solução leve altamente isolada, compatível com os requisitos de um edifício energeticamente eficiente.

Os valores de λ e de resistência térmica das camadas foram obtidos a partir de documentação técnica e de manuais de referência (por exemplo, ITE e catálogos de fabricantes), garantindo coerência com a prática projetual corrente.

Os valores U das janelas foram definidos com base em caixilharia com corte térmico e vidro de elevado desempenho, de forma a compatibilizar o comportamento dos vãos envidraçados com o nível de isolamento da envolvente opaca.

Em todos os elementos foi verificada a conformidade dos U com os limites SCE para edifícios de habitação na zona climática em estudo, garantindo a coerência entre a solução construtiva e o enquadramento regulamentar., valores apresentados no anexo D.

F.5 – Ganhos internos

Os ganhos internos foram considerados de acordo com a metodologia do PHPP e em consonância com os princípios do Sistema de Certificação Energética (SCE), tendo sido definidos a partir de valores de referência bibliográficos e normativos para edifícios residenciais de elevada eficiência energética. Foram contempladas três componentes principais: ocupação, iluminação e equipamentos.

Ganhos por Ocupação

Foi adotado o valor de $2,8 \text{ W/m}^2$ para os ganhos térmicos provenientes da ocupação. Este valor resulta da consideração de:

Um total de 4 ocupantes para uma área útil de $107,73 \text{ m}^2$;

Valores típicos de potência metabólica por ocupante na ordem dos 60 a 80 W/pessoa, de acordo com bibliografia técnica;

Intervalos de referência do PHPP, que indicam valores entre $2,5$ e $3,0 \text{ W/m}^2$ para edifícios residenciais.

O valor de $2,8 \text{ W/m}^2$ representa, assim, uma estimativa realista, conservadora e tecnicamente fundamentada, adequada ao perfil de utilização do edifício em estudo.

Ganhos por Iluminação

Para a iluminação foi considerado um valor de 3,5 W/m², correspondente a um sistema integralmente baseado em tecnologia LED de elevada eficiência energética. A escolha deste valor fundamenta-se em:

Valores de referência recomendados pelo REH e pelo PHPP, situados entre 3 e 5 W/m² para edifícios residenciais eficientes;

Garantia de níveis adequados de conforto visual, compatíveis com os requisitos de iluminação funcional dos diferentes compartimentos.

Este valor reflete uma solução realista e coerente com edifícios de elevado desempenho energético, evitando simultaneamente a subestimação dos consumos.

Ganhos por Equipamentos

Os ganhos internos provenientes dos equipamentos foram definidos como 4,5 W/m², tendo em consideração:

A utilização de eletrodomésticos e equipamentos correntes numa habitação contemporânea (frigorífico, máquinas de lavar, placa elétrica, forno, televisão, equipamentos informáticos e pequenos eletrodomésticos);

A seleção de equipamentos com classe energética elevada (A+++ ou superior);

Os intervalos de referência do PHPP, que indicam valores entre 4 e 6 W/m² para edifícios residenciais.

O valor adotado traduz uma estimativa prudente e representativa dos padrões atuais de consumo energético.

Perfis de Utilização Horária

As horas médias diárias de utilização foram definidas conforme os perfis residenciais típicos:

- Fonte Horas/dia
- Ocupação 12 h
- Iluminação 5 h
- Equipamentos 6 h

Estes valores refletem o padrão de utilização típico de uma habitação familiar e estão alinhados com os perfis de cálculo do PHPP.

Os valores adotados para os ganhos internos foram definidos com base em referências normativas, dados bibliográficos e metodologias do PHPP, assegurando a representatividade real do edifício analisado. As potências específicas refletem uma habitação equipada com sistemas eficientes, garantindo a consistência entre os modelos de cálculo do SCE e do PHPP, Calculo apresentados na Tabela Anexo F.05.

Tabela Anexo F.5 Bloco de calculo dos ganhos internos

04_Ganhos Internos Parâmetros

Fonte	Potência (W/m²)	Horas/dia	Área ref. (m²)	Ganhos (Wh/dia)	Fração útil (%)	Ganhos úteis (Wh/dia)
Ocupação	2,8	12	107,73	3619,728	90	3257,76
Iluminação	3,5	5	107,73	1885,275	85	1602,48
Equipamentos	4,5	6	107,73	2908,71	80	2326,97

04_Ganhos Internos Mensal

Mês	Dias	Fator sazonal (%)	Ganhos úteis (kWh/mês)			Total útil (kWh/mês)
			Ocupação	Iluminação	Equipamento	
Jan	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Fev	28	100	91,22	44,87	65,16	201,24
Mar	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Abr	30	100	97,73	48,07	69,81	215,62
Mai	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Jun	30	100	97,73	48,07	69,81	215,62
Jul	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Ago	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Set	30	100	97,73	48,07	69,81	215,62
Out	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80
Nov	30	100	97,73	48,07	69,81	215,62
Dez	31	100	100,99	49,68	72,14	222,80

04_Ganhos_Internos_Anuais

Indicador	Valor
Ganhos_Internos_Ocup (kWh/ano)	1189,08
Ganhos_Internos_Illum (kWh/ano)	584,91
Ganhos_Internos_Equip (kWh/ano)	849,34
Ganhos_Internos_Totais (kWh/ano)	2623,33
Ganhos_Internos_médios (kWh/mês)	218,61



F.6 – Ganhos Solares

Os ganhos solares foram determinados mensalmente, considerando:

- Área envidraçada por orientação;
- Fator solar do vidro;
- Irradiação solar mensal por orientação;
- Fatores de redução associados a sombreamentos e enquadramento.

O ganho solar mensal resulta do produto entre a irradiação incidente, a área envidraçada efetiva e o fator solar global. Estes ganhos têm um papel fundamental no equilíbrio térmico do edifício, reduzindo as necessidades de aquecimento nos meses de inverno e contribuindo para o risco de sobreaquecimento no verão. Os valores da irradiação solar mensal por orientação foram obtidos a partir da base de dados PVGIS da comissão Europeia, considerando a localização do edifício em estudo e fachadas verticais (Inclinação de 90°) orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste.

Para a quantificação dos ganhos solares, considerou-se o fator solar do vidro triplo baixo emissivo SGG CLIMATOP ONE/ECLAZ, com , conforme ficha de catálogo do fabricante. Atendendo à ausência de sombreamentos exteriores significativos e à existência de proteções interiores, adotou-se um fator de redução global de , que representa simultaneamente efeitos de sombreamento ligeiro e sujidade do envidraçado. Deste modo, o fator solar total utilizado nos cálculos é , aplicado de forma uniforme a todos os vãos, dado que estes apresentam características construtivas e condições de exposição semelhantes. Os ganhos solares são calculados com base na área transparente do vidro, pelo que a fração de caixilho não é explicitamente considerada no fator.

A Tabela Anexo F.6 apresenta a caracterização dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, discriminados por orientação e por mês.

Tabela Anexo F. 6 - Balanço de calculo dos ganhos solares - Mensais

Balanço Mensal de ganhos solares									
Mês	Q_bruto_(kWh)				Q_util_(kWh)				Q_solar_total (kWh/mês)
	Norte	Sul	Este	Oeste	Norte	Sul	Este	Oeste	
Jan	24,66	360,00	275,52	176,40	11,10	162,00	123,98	79,38	376,46
Fev	28,77	420,00	321,44	205,80	12,95	189,00	144,65	92,61	439,20
Mar	38,36	480,00	367,36	235,20	17,26	216,00	165,31	105,84	504,41
Abr	43,16	540,00	413,28	264,60	19,42	243,00	185,98	119,07	567,47
Mai	54,80	600,00	459,20	294,00	24,66	270,00	206,64	132,30	633,60
Jun	60,28	660,00	505,12	323,40	27,13	297,00	227,30	145,53	696,96
Jul	60,28	660,00	505,12	323,40	27,13	297,00	227,30	145,53	696,96
Ago	60,28	660,00	505,12	323,40	27,13	297,00	227,30	145,53	696,96
Set	43,16	540,00	413,28	264,60	19,42	243,00	185,98	119,07	567,47
Out	38,36	480,00	367,36	235,20	17,26	216,00	165,31	105,84	504,41
Nov	24,66	360,00	275,52	176,40	11,10	162,00	123,98	79,38	376,46
Dez	16,44	240,00	183,68	117,60	7,40	108,00	82,66	52,92	250,97
TOTAL	Q_bruto 14025,20 kWh				Q_util 6311,34 kWh				5934,88 kWh/(m²·ano)

Os vãos apresentam um fator solar do vidro $g = 0,50$, um fator de redução $F_{red} = 0,90$ e um fator total de correção $F_{tot} = 0,45$, refletindo as perdas associadas ao enquadramento, sombreamentos parciais e características construtivas.

Os valores de radiação solar mensal por orientação ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$) foram obtidos a partir da base de dados PVGIS, ajustados à localização do edifício (Abela, Santiago do Cacém) e utilizados como referência para o cálculo dos ganhos solares diretos. Observa-se o comportamento esperado:

- máximos na fachada Sul durante os meses de verão,
- valores intermédios nas fachadas Este e Oeste,
- valores reduzidos na fachada Norte.

Esta distribuição garante coerência física ao modelo e valida a correta orientação do edifício no modelo SCE/PHPP.

Cálculo dos Ganhos Solares Brutos (Q_{bruto})

Os ganhos solares brutos mensais (Q_{bruto}) foram obtidos pela expressão:

- é a área envidraçada por orientação,
- é a radiação solar mensal por orientação,
- é o fator solar do vidro.

F.7 – Sistemas Técnicos

O edifício em estudo foi dotado de um conjunto de sistemas técnicos integrados, dimensionados com o objetivo de garantir níveis elevados de conforto térmico, qualidade

do ar interior e eficiência energética, em conformidade com os princípios do Sistema de Certificação Energética (SCE) e da abordagem Passive House (PHPP).

Os sistemas considerados incluem:

- ventilação mecânica controlada com recuperação de calor (VMC DF);
- sistema de climatização Multi-Split;
- sistema de produção de águas quentes sanitárias por bomba de calor;
- sistema fotovoltaico para autoconsumo.

Sistema de Ventilação

A ventilação do edifício foi modelada através de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor (VMC) características no Anexo I, operando a uma taxa de renovação de ar de 0,5 renovações por hora, conforme recomendado para edifícios de elevada eficiência energética.

Considerando um volume interior de 258,55 m³, obteve-se um caudal de ar de aproximadamente 130 m³/h. Admitindo uma densidade do ar de 1,2 kg/m³ e uma capacidade térmica de 1005 J/(kg·K), determinou-se um coeficiente global de perdas por ventilação, sem recuperação, de 42,66 W/°C, conforme Tabela Anexo F.7.

Tabela Anexo F. 7- Bloco de cálculo do sistema de ventilação

Campo	Valor
TIPO_VENT	VMC Duplo Fluxo
renovações/h	0,5
VOLUME (m ³)	258,552
ETA_HRV (%)	85
n50 (1/h)	0,6
H_VENT_Bruto (W/°C)	42,66
H_VENT_LIQ (W/°C)	6,39
H_INFIL (W/°C)	14,025
H_VENT_TOTAL (W/°C)	20,42

Tendo em conta uma eficiência térmica do recuperador de 85%, as perdas efectivas por ventilação reduzem-se para 6,39 W/°C, valor posteriormente utilizado no balanço térmico anual do edifício. Este resultado evidencia a forte redução das perdas térmicas proporcionada pelo sistema de recuperação de calor.

Sistema de Climatização – Multi-Split de Expansão Direta

A climatização dos espaços é assegurada por um sistema Multi-Split de expansão direta, destinado ao aquecimento e ao arrefecimento dos compartimentos principais. Foi considerada tecnologia inverter, com modulação de potência em função das cargas térmicas reais, conforme catálogo no Anexo H.

Para efeitos de cálculo foram adotados:

- COP (aquecimento): 3,72
- EER (arrefecimento): 3,33
- Fonte de energia: eletricidade
- Fator de energia primária: 2,3

A energia útil determinada no balanço térmico foi convertida em energia final através do COP e EER, sendo posteriormente transformada em energia primária por aplicação do fator PER regulamentar, assegurando coerência com o método do SCE.

A escolha deste sistema justifica-se pela sua elevada eficiência energética, boa resposta a cargas parciais, facilidade de integração com a produção fotovoltaica e compatibilidade com edifícios de elevada qualidade térmica.

Produção de AQS

A produção de Água Quente Sanitária (AQS) do edifício é assegurada por uma bomba de calor para AQS, características no Anexo G, tendo como fonte de energia a eletricidade, com um coeficiente de desempenho (COP) de 3,72, de acordo com os dados técnicos do equipamento selecionado. Este valor traduz uma elevada eficiência energética, sendo representativo de sistemas modernos de produção de AQS.

Considerou-se um número de 4 ocupantes, com um consumo médio diário de 40 L por ocupante, valor em conformidade com as referências do SCE e do PHPP. Admitiu-se uma temperatura da água da rede de 15 °C e uma temperatura de utilização de 50 °C, resultando num salto térmico (ΔT) de 35 °C. O consumo anual de água quente sanitária foi assim determinado para os 365 dias do ano.

Com base nestes pressupostos, obteve-se uma necessidade útil anual de AQS de 2377,17 kWh/ano. Atendendo ao COP da bomba de calor, a energia final para AQS foi calculada por divisão das necessidades úteis pela eficiência do sistema, resultando em aproximadamente 639,02 kWh/ano. Aplicando o fator de energia primária da eletricidade de 2,3, obteve-se uma energia primária anual associada à AQS de 1469,76 kWh/ano. Tabela Anexo F.8.

Tabela Anexo F. 8 - Bloco de cálculo da energia para AQS

Descrição	Símbolo	Dados
Número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia	n_{ac} [ocupantes]	4
Consumo médio diário p/ocupante	[litros]	40
Temperatura rede	T_{rede} [°C]	15
Temperatura AQS	T_{AQS} [°C]	50
ΔT [°C]	ΔT [°C]	35
Número anual de dias de consumo	n_d [dias/ano]	365
Consumo médio diário de referência	M_{AQS} [litros/dia]	160

Consumo médio anual de referência	V_anual	58400
Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS	Q _{a_AQS_util} (kWh/ano)	2377,17
Necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS	Q_AQS_final (kWh/ano)	639,02
EP_AQS (kWh/ano)	EP_AQS (kWh/ano)	1469,76

Estes resultados evidenciam o contributo significativo da bomba de calor na redução do consumo de energia final e de energia primária, quando comparada com sistemas convencionais, reforçando a adequação da solução adotada ao enquadramento de edifício energeticamente eficiente e alinhado com os requisitos do Sistema de Certificação Energética.

Sistema Fotovoltaico para Autoconsumo

O edifício integra ainda um sistema fotovoltaico para produção de energia elétrica, destinado ao autoconsumo, contribuindo para a redução da energia primária do edifício. A produção fotovoltaica é utilizada prioritariamente para alimentar os sistemas ativos: climatização, AQS e ventilação.

A integração do sistema fotovoltaico permite:

- Redução da energia primária total;
- Melhoria significativa da classe energética do edifício;
- Diminuição da dependência da rede elétrica;
- Contributo para a descarbonização do consumo energético.

Tabela Anexo F. 9 - Bloco de Calculos do Sistema de Autoconsumo

Descrição	Dados	Unidades
Potência instalada PV	2,5	kWp
Produtividade anual	1600	kWh/kWp.ano
Taxa de autoconsumo	0,6	---
Factor enérgia primária eléctrica	2,3	---
Produção anual total PV	4000	kWh/ano

Energia anual autoconsumida 2400 kWh/ano
EP evitada pelo PV 5520 kWhprim/ano

Iluminação

4-6 W/m² para habitação com LED

50-800h/ano (podes assumir
2h/dia*65 - 730h)

h ano (h/ano)

Pilum=Pdesn.Au 538,65 W/m²
Efilum total 393,2145

F.9 – Balanço Energético Mensal

O balanço energético mensal resulta da combinação:

- Das perdas térmicas por transmissão;
- Das perdas por ventilação;
- Dos ganhos solares;
- Dos ganhos internos.

A partir deste balanço são determinadas, mês a mês, as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício. A soma dos valores mensais permite obter os consumos energéticos anuais.

Tabela Anexo F. 10 - Consumos energéticos Anuais

Mês	Dias	T _{ext} (°C)	T _{int} (°C)	ΔT (°C)	H _{tr} (W/K)	H _{vent} (W/K)	H _{total} (W/K)	Q _{perdas} (kWh/mês)	Q _{sol} (kWh/mês)	Q _{int} (kWh/mês)	Q _{ganhos} (kWh/mês)	Q _h (kWh/mês)	Q _c (kWh/mês)
Jan	31	10,8	20	9,2	69,13	21,21	90,34	618,35	376,46	222,80	-241,89	860,23	0,00
Fev	28	11,8	20	8,2	69,13	21,21	90,34	497,80	439,20	201,24	-58,60	556,40	0,00
Mar	31	13,4	20	6,6	69,13	21,21	90,34	443,60	504,41	222,80	60,82	382,78	0,00
Abr	30	14,9	20	5,1	69,13	21,21	90,34	331,72	567,47	215,62	235,74	95,98	0,00
Mai	31	17,3	20	2,7	69,13	21,21	90,34	181,47	633,60	222,80	452,13	0,00	270,66
Jun	30	20,7	20	-0,7	69,13	21,21	90,34	-45,53	696,96	215,62	742,49	0,00	788,02
Jul	31	23,1	20	-3,1	69,13	21,21	90,34	-208,36	696,96	222,80	905,32	0,00	1113,67
Ago	31	23,1	20	-3,1	69,13	21,21	90,34	-208,36	696,96	222,80	905,32	0,00	1113,67
Set	30	21,7	20	-1,7	69,13	21,21	90,34	-110,57	567,47	215,62	678,04	0,00	788,61
Out	31	18,1	20	1,9	69,13	21,21	90,34	127,70	504,41	222,80	376,71	0,00	249,01
Nov	30	14,4	20	5,6	69,13	21,21	90,34	364,24	376,46	215,62	12,22	352,03	0,00

Dez	31	12	20	8	69,13	21,21	90,34	537,69	250,97	222,80	-286,72	824,41	0,00
07_Balanco_ ANUAIS					829,55	254,51	1084,06	2529,76 kWh/ano	6311,34 kWh/ano	2623,33 kWh/ano	3781,58 kWh/ano	3071,83 kWh/ano	4323,65 kWh/ano
												Qh_m2	Qc_m2
												28,51 kWh/m²·ano	1801,52 kWh/m²·ano

F.10 – Resultados do SCE

A avaliação do desempenho energético do edifício foi realizada de acordo com a metodologia regulamentar do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), tendo por base uma área útil climatizada de 107,73 m². As necessidades anuais úteis apuradas foram de 3071,83 kWh/ano para aquecimento (Qh) e 4323,65 kWh/ano para arrefecimento (Qc), refletindo o comportamento térmico sazonal resultante da envolvente, ventilação e ganhos térmicos.

Considerando os rendimentos dos sistemas adotados, nomeadamente $\eta_{\text{heat}} = 4,23$ para aquecimento e $\eta_{\text{cool}} = 3,33$ para arrefecimento, obtiveram-se consumos finais de 726,20 kWh/ano e 1298,39 kWh/ano, respetivamente. A produção de águas quentes sanitárias (AQS), assegurada por bomba de calor com $\text{COP} = 3,72$, traduz-se numa energia primária anual de 1469,76 kWh/ano.

A energia primária total do edifício sem contribuição de produção fotovoltaica é de 6126,32 kWh/ano, correspondendo a uma energia primária específica de 56,87 kWh/m²·ano. Com este enquadramento, o edifício apresentaria uma classe energética C, com um rácio $R_{\text{SCE}} = 1,361$, resultante da comparação com o edifício de referência.

Contudo, com a integração do sistema fotovoltaico com potência instalada de 2,5 kWp, considerado no balanço energético através do autoconsumo anual, a energia primária total reduz-se para 606,32 kWh/ano, o que corresponde a uma energia primária específica de 5,63 kWh/m²·ano. Neste cenário, o rácio passa para $R_{\text{SCE}} = 0,135$,

conduzindo à atribuição da classe energética A+, evidenciando o impacto muito significativo da produção renovável no desempenho global do edifício.

O valor de $EP_{ref} = 4500 \text{ kWh/ano}$ corresponde à energia primária do edifício de referência regulamentar, definida segundo as condições padrão do SCE (envolvente e sistemas de referência). Este valor constitui o termo de comparação para o cálculo do rácio $R_{SCE} = EP / EP_{ref}$, sendo este o parâmetro determinante para a classificação energética. Assim, a classe energética reflete a relação direta entre o desempenho do edifício real e o desempenho mínimo exigido por regulamento.

Os resultados obtidos demonstram que, embora o edifício apresente já um comportamento eficiente ao nível da envolvente e dos sistemas técnicos, é a integração do sistema fotovoltaico que permite alcançar o nível máximo de desempenho energético (A+), reduzindo drasticamente a dependência de energia primária externa.

08_SCE

Indicador	Valor	Unidade		Descrição
A_UTIL	107,73	m ²		Área útil
Qh_total	3071,83	kWh/ano		Necessidades anuais de aquecimento
Qc_total	4323,65	kWh/ano		Necessidades anuais de arrefecimento
ETA_HEAT	4,23	-		Sistema de aquecimento
ETA_COOL	3,33	-		Sistema de arrefecimento
FP_ELEC	2,30	-		Factor de energia primária
Ef_HEAT	726,20	kWh/ano		Energia final de aquecimento
Ef_COOL	1298,39	kWh/ano		Energia final de arrefecimento
EP_HEAT	1670,26	kWh/ano		Energia primária de aquecimento
EP_COOL	2986,30	kWh/ano		Energia primária de arrefecimento
Ep_DHW	1469,76	kWh/ano		
	Sem PV		Com PV	
EP_TOTAL	6126,32	kWh/ano	606,32	Energia primária total
EP_SPEC	56,87	kWh/m ² ·ano	5,6281637	Energia primária específica
		-		
EP_ref	4500	kWh/ano		
R_SCE	1,361404906		0,13473824	

CLASSE
(lookup)

C

A+

Classe energetica (via lookup)

R _{nt}	Classe
$R_{nt} \leq 0,25$	A+
$0,25 < R_{nt} \leq 0,50$	A
$0,50 < R_{nt} \leq 0,75$	B
$0,75 < R_{nt} \leq 1,00$	B -
$1,00 < R_{nt} \leq 1,50$	C
$1,50 < R_{nt} \leq 2,00$	D
$2,00 < R_{nt} \leq 2,50$	E
$R_{nt} > 2,50$	F

F.11 – Resultados do PHPP

A avaliação energética do edifício segundo a metodologia PHPP (Passive House Planning Package) permitiu caracterizar de forma detalhada o comportamento térmico e energético do edifício, tendo por base uma área útil de 107,73 m². As necessidades específicas de aquecimento obtidas foram de $Q_h = 28,51 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, valor significativamente reduzido, o que demonstra a elevada qualidade térmica da envolvente e a forte contribuição da estanquidade ao ar e da ventilação com recuperação de calor.

As necessidades específicas de arrefecimento são de $Q_c = 18,02 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$, refletindo um bom controlo dos ganhos solares e internos, apesar das condições climáticas exigentes no período estival. O valor de $n_{50} = 0,60 \text{ h}^{-1}$, resultante do ensaio de estanquidade, confirma um nível muito elevado de impermeabilidade ao ar, compatível com os requisitos de edifícios de elevado desempenho energético.

O sobreaquecimento anual encontra-se dentro dos limites admissíveis do método PHPP, garantindo condições adequadas de conforto térmico no Verão sem necessidade de soluções passivas ou ativas excessivas.

Consumos Específicos de Energia Final

Os consumos específicos de energia final por utilização são os seguintes:

- Aquecimento: 6,74 kWh/m²·ano
- AQS: 5,93 kWh/m²·ano
- Ventilação: 5,29 kWh/m²·ano
- Iluminação: 3,65 kWh/m²·ano
- Arrefecimento: 12,05 kWh/m²·ano

Estes valores evidenciam um edifício com necessidades energéticas muito reduzidas, em particular ao nível do aquecimento, aproximando-se do conceito de edifício passivo. O arrefecimento assume um peso superior face às restantes utilizações, coerente com a localização climática e a exposição solar do edifício.

Energia Primária segundo o PHPP

Foi adotado um fator de energia primária (PER) igual a 2,3 para todas as utilizações elétricas (aquecimento, AQS, ventilação, iluminação e arrefecimento), em conformidade com os valores regulamentares atualmente utilizados em Portugal. O valor global de energia primária específica (PER_TOTAL) obtido é de:

> 77,42 kWh/m²·ano

Este resultado traduz um edifício de elevado desempenho energético, ainda que já não integrado no limiar estrito de edifício passivo clássico ($\leq 60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$), mas claramente enquadrável na categoria de edifício de energia quase nula (nZEB).

Verificação dos Critérios PHPP

A validação dos principais indicadores normativos apresenta os seguintes resultados:

- Critério de aquecimento: não verificado (limite $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$)
- Critério de energia primária: não verificado (limite $\leq 60 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$)
- Estanquidade n50: verificado ($\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$)
- Sobreaquecimento: verificado ($\leq 10\%$)

Apesar de o edifício não cumprir integralmente os limites estritos da certificação passiva clássica, cumpre plenamente os requisitos de conforto, estanquidade e eficiência energética exigidos para edifícios de elevado desempenho, sendo compatível com soluções construtivas e técnicas atualmente exigidas para edifícios nZEB.

Síntese Interpretativa

Os resultados do PHPP confirmam:

- Elevada qualidade térmica da envolvente opaca e envidraçada;
- Excelente estanquidade ao ar;
- Reduzidas necessidades de aquecimento;
- Predominância das necessidades de arrefecimento no balanço energético;

08_PHPP

Indicador	Valor	Unidade	Descrição
A_UTIL	107,73	m ²	Área útil
Qh_m2	28,51	kWh/m ² ·ano	Da Folha 06
Qc_m2	1801,52	kWh/m ² ·ano	Da Folha 06
n50	0,60	1/h	Ensaio
Sobreaquecimento (%)		%	Inserir (simulação ou cálculo)
EF_HEAT_M2	6,74	kWh/m ² ·ano	Energia final aquecimento
EF_DHW_M2	5,93	kWh/m ² ·ano	Energia final AQS
EF_VENT_M2	5,29	kWh/m ² ·ano	Energia final ventilação
EF_LIGHT_M2	3,65	kWh/m ² ·ano	Energia final iluminação
EF_COOL_M2	12,05	kWh/m ² ·ano	Energia final arrefecimento
PER_HEAT	2,3	-	Fator PER aquecimento
PER_DHW	2,3	-	Fator PER AQS
PER_VENT	2,3	-	Fator PER ventilação
PER_LIGHT	2,3	-	Fator PER iluminação
PER_COOL	2,3	-	Fator PER arrefecimento
PER_TOTAL	77,4188752	kWh/m ² ·ano	Soma(EF _i × PER _i)
CHK_HEAT	Kok	15	≤15 kWh/m ² ·ano
CHK_PER	Kok	60	≤60 kWh/m ² ·ano
CHK_N50	OK	0,6	≤0,6 1/h
CHK_OVER	OK	0,60	≤10 %

Anexo G - Catálogo Bomba de Calor – AQS

DADOS TÉCNICOS		200I	200IX	270I	270IX	300I	300IX	500I	500IX
Alimentação	-	-	-	220-240 Vac / monofásica / 50 Hz					
Potência térmica fornecida	W	1800	1800	1800	1800	1800	1800	3000	3000
Potência elétrica consumida	W	400-700	400-700	400-700	400-700	400-700	400-700	600-950	600-950
Potência de apoio elétrico	W	1500	1500	1500	1500	1500	1500	2000	2000
COP* (EN16147)	COP	3.72	3.72	3.91	3.91	3.91	3.84	3.61	3.61
Eficiência energética ¹	%	154	154	161	160	160	160	150	150
Tempo de aquecimento ¹ (EN16147)	h:mm	04:36	04:36	05:57	05:42	06:29	06:29	06:48	06:48
Qtd. água retrada a 40°C (EN16147)	L	251	245	323	362	362	355	591	591
Pressão sonora a 2m	dB(A)	-	-	-	-	36	-	-	-
Refrigerante ecológico	-/kg	R134a / 12	R134a / 12	R134a / 12	R134a / 12	R134a / 12	R134a / 12	R134a / 15	R134a / 15
	Classe energética ¹	A++	A++	A++	A++	A++	A++	A+	A+
	Perfil de consumo	L	L	XL	XL	XL	XL	XXL	XXL
DIMENSÕES/PESO/CONDUTAS		200I	200IX	270I	270IX	300I	300IX	500I	500IX
Dimensões (a)/Altura	mm	580/1704	580/1704	580/2004	580/2004	650/1864	650/1864	700/2219	700/2219
Peso	kg	60	62	67	75	75	78	122	125
Diâmetro das condutas	Ø mm	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190
DEPÓSITO		200I	200IX	270I	270IX	300I	300IX	500I	500IX
Capacidade de armazenamento	L	200	195	270	265	300	295	460	455
Máxima pressão de trabalho	bar	7	7	7	7	7	7	7	7
Material	-	-	-	Aço Inox ²					
Isolamento	-	-	-	Poliuretano de Alta Densidade 50mm					
Serpentina de apoio (comp./a)	m	-	10/25	-	10/25	-	10/25	-	21/25
Conexões hidráulicas, Entrada/Saída	m/mm	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	1"	1"
Conexões de serpentina	-	-	1"	-	1"	-	1"	-	1"
CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO		200I	200IX	270I	270IX	300I	300IX	500I	500IX
Temp. máx. da água (Bomba de Calor / °C	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65	60 / 65
Apoio Elétrico Complementar)	-	-	-	-	-	-	-	-	-

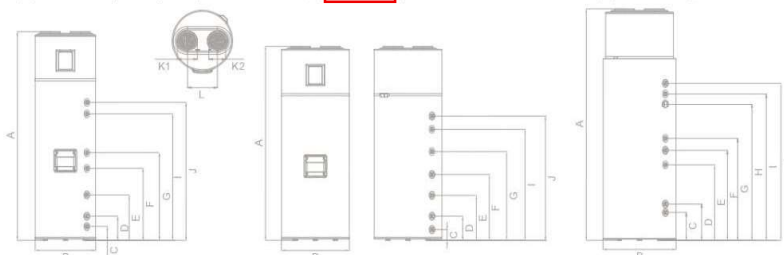
¹EN16147: Aquecimento da água dos 10°C até aos 54°C (Temperatura do ar 14°C) | ²Elevada resistência à corrosão

DIMENSÕES mm		200I	200IX	270I	270IX	300I	300IX	500I	500IX
A	Altura	1704	1704	2004	2004	1864	1864	2219	2219
B	Diâmetro	580	580	580	580	650	650	700	700
C	Água fria	131	131	131	131	102	102	267	267
D	Saída da serpentina	-	231	-	231	-	231	-	347
E	Instrumentação	-	435	-	435	-	431	-	725
F	Entrada da serpentina	-	690	-	690	-	631	-	862
G	Recirculação	-	-	840	840	850	850	975	975
H	Ânodo	-	-	-	-	-	-	1305	1305
I	Válvula PT	905	905	1205	1205	1060	1060	1405	1405
J	Água quente	1030	1030	1325	1325	1185	1185	1505	1505
K1/K2 Ø	Diâmetro das condutas	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190	160/190
L	Distância entre condutas	286	286	286	286	286	286	286	286

Equipamento: 200I / 200IX / 270I / 270IX

Equipamento: 300I / 300IX

Equipamento: 500I / 500IX



Multisplit | **Gama Doméstica** | MXZ

Unidades Exteriores 2x1 / 3x1 **R32**

 MITSUBISHI ELECTRIC
Changes for the Better

G. DOMÉSTICA



MODELO		MXZ-2F33VF	MXZ-2F42VF	MXZ-2F33VF	MXZ-3F54VF
Unidades interiores máx.		2	2	2	3
Capacidad	Frio Nominal (Min-Máx)	kW 3,3 (1,1-3,8)	4,2 (1,1-4,4)	5,3 (1,1-5,6)	5,4 (2,9-6,8)
	Calor Nominal (Min-Máx)	kW 4 (1-4,1)	4,5 (1-4,8)	6,4 (1-7)	7 (2,6-9,6)
Coeficiente energético	EER / COP ²	3,90 / 4,40	4,3 / 5,1	3,90 / 4,1	4,3 / 5
	SEER (Etiqueta)*	6,05 (A++)	8,54 (A+++)	7,1 (A++)	8,53 (A+++)
	SCOP (Etiqueta)*	4,16 (A+)	4,62 (A++)	4,2 (A+)	4,62 (A++)
Dimensiones altura x largura x profundidad		mm 550 x 800 (+60) x 285(+50) 5	550 x 800(+60) x 285(+50) 5	550 x 800(+60) x 285(+50) 5	710 x 840(+30) x 330(+66)
Dist. tubos ligeros/diámetro		mm (3/1) 2 / 9,52 (3/8) x 2	6,35 (1/4) 2 / 9,52 (3/8) x 2	6,35 (1/4) 2 / 9,52 (3/8) x 2	6,35 (1/4) 3 / 9,52 (3/8) x 3
Diam. tubos máx. mínima altura/comprimiento		m 10 / 20	15/10(1) / 30	15/10(1) / 30	15/10(1) / 50

Star Nation.



MODELO		MX2-3F60VF	MX2-4F72VF	MX2-4F83VF	MX2-5F102VF	MX2-6F120VF	
Unidades interiores máx.		3	4	4	5	6	
Capacidad	Frio Nominal (Min-Máx)	kW	6,8 (2,9-8,4)	7,2 (3,7-8,8)	8,3 (3,7 - 9,2)	10,2 (3,9 - 11,0)	12,2 (3,5 - 13,3)
	Calor Nominal (Min-Máx)	kW	8,6 (2,5-10,6)	8,6 (3,4-10,7)	9,3 (3,4 - 11,8)	10,5 (4,1 - 14,0)	14,0 (3,5 - 16,0)
	EER / COP ²		3,8 / 4,5	3,9 / 4,6	4,21 / 4,65	3,64 / 4,60	3,33 / 4,23
	SEER (Etiqueta) ²		7,96 (A++)	8,13 (A++)	8,5 (A++)	8,2 (A++)	-
	SCOP (Etiqueta) ²		4,12 (A++)	4,07 (A++)	4,7 (A++)	4,7 (A++)	-
Dimensiones altura x largura x profundidad	mm		710 x 840 (30 x 330) + 660	796-950-330	796-950-330	1048-950-330	
Datos tubos frigoríficos	mm (")		6,35 (1/4) x 3 / 6,35 (1/4) x 4 / 12,7 (1/2)	6,35 (1/4) x 3 / 6,35 (1/4) x 4 / 12,7 (1/2)	6,35 (1/4) x 3 / 6,35 (1/4) x 4 / 12,7 (1/2)	6,35 (1/4) x 3 / 6,35 (1/4) x 4 / 12,7 (1/2)	
			9,52 (3/8) x 3 / 11 x +9,52 (3/8) x 3	11 x +9,52 (3/8) x 3	11 x +9,52 (3/8) x 3	11 x +9,52 (3/8) x 4	
Diámetro tubos frigoríficos/gas/compresores	mm		9,52 (3/8) / 60	15,15 (1/2) / 60	15,15 (1/2) / 70	15,15 (1/2) / 80	

NOTAS: 1) Quanto a unidade exterior, esta constitui uma parte muito importante de uma unidade exterior, a qual também é necessária para 13m. De acordo com o EHRCP, SEFES/SCOP e a classe de eficiência energética são indicados com as seguintes conexões unidades interiores unidades:

Só funciona com Unidades Interiores MSZ-HR



MODELO			MXZ-2HA40VF		MXZ-2HA50VF		MXZ-3HA50VF
Unidades interiores mdx.			2		2		3
Capacidade	Frio Nominal (Min-Max)	kW	4,0 (1,1-4,3)		5,0 (1,1-5,4)		5,0 (2,6-9,5)
	Calor Nominal (Min-Max)	kW	4,3 (1,0-4,7)		6,0 (1,0-6,4)		6,0 (2,6-7,5)
	EER / COP		3,81 / 4,73		3,29 / 3,9		3,92 / 4,62
Coefficiente energético	SEER ²		8,12 (A++)		7,78 (A++)		7,26 (A++)
	SCOP ²		4,30 (A+)		4,30 (A+)		4,02 (A+)
Dimensões altura x largura x profundidade	mm		550 x 800 (+69) x 285(+59,5)		550 x 800(+69) x 285(+59,5)		710 x 840 x 330(+66)
Diã. tubagens líquido/gás	mm (")		6,35 x 2 / 9,52 x 2 (1/4" - 3/8") x 2		6,35 x 2 / 9,52 x 2 (1/4" - 3/8") x 2		6,35 x 3 / 9,52 x 3 (1/4" - 3/8") x 3
Distância tubagem máxima altura/comprimento	m		1510(1") / 30		1510(1") / 30		1510(1") / 50

*1. Quando a unidade exterior está instalada num ponto mais alto do que a unidade interior, a altura máxima é reduzida para 10m. *2 Os valores de SEFRASCOPE e classe de eficiência energética são medidos com as seguintes condições: unidade exterior/unidades interiores: MX2-344A/3A; MS2-JR25/E + MS2-JR25/E / MX2-2845/E; MS2-JR25/E + MS2-JR25/E / MX2-3445/E; MS2-JR25/E + MS2-JR25/E + MS2-JR25/E

Anexo I - Catálogo Recuperador de Calor

Modelos CADS-HE BP – Soler & Palau

Recuperadores de calor estáticos (sin ventilador) de alta eficiencia (hasta el 92%), de bajo perfil y peso reducido para permitir ser instalados en falsos techos, concebidos para trabajar con ventiladores de bajo consumo, montados en cajas de chapa de acero galvanizado, con aislamiento de espuma de polietileno (M1) de 10 mm de espesor, totalmente estancas, juntas de goma en bocas de entrada y salida, fácil mantenimiento mediante compuerta interior, intercambiador de calor de tipo contraflujo fabricado en PVC, salida de evacuación de condensaciones, y filtros G2 en aspiración y descarga, fáciles de cambiar, sin necesidad de herramientas.

Incorporan by-pass con compuerta motorizada, 230V.

El by-pass permite que parte

del aire extraído no pase a través del intercambiador, cuando se requiera el enfriamiento del local (con temperatura exterior inferior a la interior).

El by-pass es reversible, para poderlo adaptar a las distintas disposiciones de los flujos de aire aportado o extraído, según la configuración de la red de conductos del edificio.

Otros datos

Filtros G4, como accesorio



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Eficiencia	Caudal máximo (m³/h)
CADS-HE 150	82-92 %	300
CADS-HE 160	82-92 %	300
CADS-HE BP 150	82-92 %	300
CADS-HE BP 160	82-92 %	300