

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projeto no
âmbito da revisão do regulamento do desempenho energético
de edifícios**

Ana Rita Lopes Soares

Mestrado Bolonha em Engenharia da Energia e Ambiente

Dissertação orientada por:
Professora Doutora Marta Oliveira Panão

2023

Agradecimentos

Sendo esta dissertação a reta final de uma das etapas mais importantes da minha formação académica, gostaria de agradecer a todos os que permitiram direta ou indiretamente para que isso acontecesse.

Agradeço à Homegrid, em especial ao engenheiro João Marcelino e arquiteto João Gavião, pelo apoio dado no esclarecimento do conceito *Passive House* e pela documentação facultada, que foi uma mais valia para a minha perceção relativamente a este conceito.

Ao projeto SMILE - *Sintra Motion & Innovation for Low Emissions* – que me permitiu realizar uma auditoria energética *in situ* numa fração de habitação de um edifício localizado no bairro da Tabaqueira, em Sintra, cujos resultados foram essenciais não só para a realização da segunda fase do presente trabalho relativa aos casos de estudo, mas, também, no contexto do projeto com o objetivo de promover melhorias significativas no bairro para a redução do consumo de energia e mitigação das emissões de carbono.

À minha orientadora, Professora Doutora Marta Panão, pela sua disponibilidade, pela experiência e conhecimentos transmitidos e pelo apoio constante ao longo da realização da presente dissertação.

Aos meus colegas de curso, e em especial aos que se tornaram meus amigos, que me acompanharam e ajudaram ao longo de todo o percurso académico, pela amizade e companheirismo que nos uniu.

Ao João, por todo o carinho e apoio, que me incentivou para a finalização deste trabalho e que acreditou em mim para que conseguisse cumprir com este objetivo.

À minha família, em especial aos meus pais e aos meus irmãos, que tornaram possível que eu chegasse até ao final e sempre acreditaram em mim, este trabalho é dedicado a eles.

Resumo

De acordo com a Diretiva Europeia 2018/844, relativa ao desempenho energético dos edifícios, é necessário criar estratégias de longo prazo para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e de modo a descarbonizar o parque imobiliário, que é responsável por cerca de 40% do consumo energético e 36% das emissões de CO₂ na União Europeia. Devem ser criadas estratégias de renovação a longo prazo do parque nacional de edifícios residenciais e não residenciais, sejam estes públicos ou privados, para uma transformação dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia, nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*).

Para tal, a aplicação do conceito *Passive House* no setor residencial seria uma solução energeticamente eficiente de baixo consumo energético, que pode ser facilmente suprido pelas energias renováveis, correspondendo desta forma ao conceito de edifícios nZEB.

Assim, a presente dissertação tem como principal objetivo desenvolver uma ferramenta de apoio que permite a determinação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados através do cumprimento de requisitos de elevado desempenho energético previstos tanto pela norma *Passive House* como pela regulamentação nacional que se encontra em vigor, após a publicação do recente Decreto-Lei n.º 101-D/2020.

A ferramenta de apoio foi posteriormente aplicada no âmbito da caracterização do desempenho energético de três frações habitacionais de um edifício, submetidas a quatro estados diferentes cada uma, incluindo o estado original (*Estado inicial*) e três estados que representam medidas de melhoria aplicadas ao nível da envolvente envidraçada.

Após a análise dos balanços de energia primária, do edifício previsto e de referência para os diferentes estados das frações, foi possível concluir que a substituição dos vãos envidraçados por outros de melhor desempenho energético teve impacto significativo na classe energética das habitações face ao *Estado inicial*, onde se obteve uma classe final equivalente para os três estados (B-), porém, entre estes não foi suficiente para se obter uma classe energética superior.

Palavras-chave: Requisitos, *Passive House*, Vãos Envidraçados, SCE, Desempenho Energético

Abstract

According to the European Directive 2018/844 on the energy performance of buildings, it is necessary to create long-term strategies for the reduction of greenhouse gas emissions and to decarbonize the building stock, which is responsible for 40% of energy consumption and 36% of CO₂ emissions in the European Union. Strategies should be created for long-term renovation of the national stock of residential and non-residential buildings, whether public or private, for a transformation of existing buildings into nearly Zero Energy Buildings (nZEB).

For this, the application of the Passive House concept in the residential sector would be an energy efficient solution with low energy consumption, which can be easily supplied by renewable energies, corresponding in this way to the nZEB buildings concept.

Thus, this dissertation has as its main objective to develop a support tool that allows the determination of the thermal transmittance coefficient of the windows through the fulfilment of high energy performance requirements provided by both the Passive House standard and the national regulation that are currently in use, after the publication of the recent Decreto-Lei n.º101-D/2020.

The support tool was subsequently applied to characterize the energy performance of three residential units of a building, submitted to four different states each, including the original state (initial state) and three states representing improvement measures applied at the glazing envelope level.

After the analysis of the primary energy balances of the planned and reference building for the different states of the fractions, it was possible to conclude that the replacement of the glazed windows for others with better energy performance had a significant impact on the energy class of the dwellings compared to the initial state, where a final class equivalent to the three states was obtained (B-), but between these states, it was not enough to obtain a higher energy class.

Keywords: Requirements, Passive House, Windows, SCE, Energy Performance

Siglas e Acrónimos

AQS	Águas quentes sanitárias
AZEB	Affordable Zero Energy Buildings
CDSM	Cálculo Dinâmico Simplificado Monozona
CE	Certificado Energético
CEPHEUS	Cost Efficient Passive Houses as European Standards
CO ₂	Dióxido de carbono
DEE	Desempenho Energético dos Edifícios
EPDB	Energy Performance of Buildings Directive
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IEE	Intelligent Energy Europe
ISO	International Organization for Standardization
LEH	Low Energy Houses
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
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
SDM	Simulação Dinâmica Multizona
UE	União Europeia

Simbologia

$A_{env, espaço}$	Soma das áreas dos vãos envidraçados com 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_{ztu}	Coeficiente 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 pelo sistema k
F_o	Fator de sombreamento do elemento opaco horizontal
F_{pu}	Fator de conversão de energia final para energia primária (kWh _{EP} /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
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 quadrícula 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 .ano)]
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/(m ² .ano)]

N_t	Necessidades nominais anuais de energia primária de referência [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
N_{tc}	Necessidades nominais anuais de energia primária [kWh _{EP} /(m ² .ano)]
N_v	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de referência [kWh/(m ² .ano)]
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/(m ² .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_{tot}''	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 da 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)]

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Siglas e Acrónimos.....	v
Simbologia	vi
Índice.....	ix
Índice de Figuras	xii
Índice de Tabelas.....	xiv
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos e perguntas de investigação	4
1.3 Organização do documento	6
2 Revisão bibliográfica.....	7
2.1 Conceito <i>Passive House</i>	7
2.2 Revisão histórica	8
2.3 Projetos europeus	11
2.4 <i>Passive House</i> em Portugal	12
2.5 Requisitos energéticos.....	13
2.6 Princípios <i>Passive House</i>	15
2.6.1 Isolamento térmico do edifício.....	15
2.6.2 Janelas de elevada eficiência energética.....	17
2.6.3 Minimização de pontes térmicas	20
2.6.4 Estanquidade ao ar.....	21
2.6.5 Sistema de ventilação com recuperação de calor	22
2.6.6 Requisitos gerais mínimos.....	23
2.7 Desempenho energético dos edifícios	25
2.7.1 Enquadramento legislativo	25
2.7.2 Requisitos de desempenho energético dos edifícios de habitação.....	26
3 Metodologia.....	31
3.1 Desenvolvimento da ferramenta de apoio no âmbito dos vãos envidraçados	31
3.1.1 Configuração do vão envidraçado	32
3.1.2 Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado	35

3.2	Métodos de cálculo.....	37
3.3	Metodologia Manual SCE - Balanços de energia primária para edifícios de habitação	38
3.3.1	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	39
3.3.2	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	40
3.3.3	Necessidades nominais anuais de energia útil para AQS	41
3.3.4	Consumo de ventilação mecânica	42
3.3.5	Energia renovável para autoconsumo.....	43
3.3.6	Necessidades nominais anuais de energia primária.....	43
3.3.7	Indicador de energia primária renovável	45
4	Casos de estudo	46
4.1	Enquadramento geral.....	46
4.2	Localização e dados climáticos	46
4.3	Levantamento dimensional e caracterização das frações de habitação	47
4.4	Envolvente opaca	50
4.5	Envolvente envidraçada	51
4.6	Ventilação/Infiltração.....	52
4.7	Sistemas técnicos.....	52
4.8	Descrição das simulações.....	53
4.8.1	Estado inicial	53
4.8.2	SCE 2020.....	53
4.8.3	PH referência.....	53
4.8.4	PH calculado.....	54
5	Resultados e discussão	57
5.1	Fração de habitação - Piso térreo.....	57
5.2	Fração de habitação – Piso intermédio.....	61
5.3	Fração de habitação – Último piso	64
5.4	Comparação de resultados.....	67
6	Conclusões e sugestões futuras	69
7	Referências	70
	Anexos.....	74
A.	Anexo A – Ferramenta de apoio no âmbito dos vãos envidraçados.....	74
B.	Anexo B – Metodologia Manual SCE: Balanços de energia primária	84
B.1	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	84
B.1.1	Edifício de habitação – Previsto	84

B.1.1.1	Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,i}$)	84
B.1.1.2	Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,i}$)	86
B.1.1.3	Ganhos térmicos úteis ($Q_{gu,i}$)	87
B.1.2	Edifício de habitação - Referência	89
B.2	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	90
B.2.1	Edifício de habitação – Previsto	90
B.2.1.1	Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,v}$).....	90
B.2.1.2	Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,v}$).....	91
B.2.1.3	Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$)	92
B.2.2	Edifício de habitação – Referência.....	94
C.	Anexo C – Metodologia Manual SCE: Parâmetros térmicos	96
C.1	Coeficiente de transmissão térmica para a envolvente opaca.....	96
C.2	Pontes térmicas lineares (PTL).....	98
C.3	Inércia térmica.....	98
C.4	Coeficiente de redução (b_{ztu})	99

Índice de Figuras

Figura 1.1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Fonte: [2])	1
Figura 2.1: DTH <i>Zero-Energy House</i> , em Copenhaga, na Dinamarca (Fonte: [19])	8
Figura 2.2: <i>Philips Experimental House Project</i> , em Aachen, Alemanha (Fonte: [22])	9
Figura 2.3: <i>Passive House</i> em Darmstadt-Kranichstein, Alemanha (Fonte: [26])	10
Figura 2.4: Representação da camada de isolamento térmico numa <i>Passive House</i> (Fonte: [41])	16
Figura 2.5: Categorias definidas pela <i>Passive House</i> para diferentes zonas climáticas do mundo (Fonte: [45])	17
Figura 2.6: Parâmetros térmicos necessários ao cálculo de $U_{w, instalado}$ numa janela <i>Passive House</i> (Fonte: Adaptado de [50])	18
Figura 2.7: Representação das camadas de isolamento térmico e estanque, e ligações cruciais entre elementos (Fonte: [59])	20
Figura 2.8: Representação da camada estanque ininterrupta numa <i>Passive House</i> (Fonte: [65])	21
Figura 2.9: Funcionamento de um sistema de ventilação com recuperação de calor numa <i>Passive House</i> (Fonte: [69])	22
Figura 3.1: Configuração de vãos envidraçados com quadrícula interior (a) e (b), e sem quadrícula interior (c) (Fonte: [79], [80])	33
Figura 3.2: Parâmetros dimensionais de um vão envidraçado	33
Figura 3.3: Separador "III. Configuração do vão envidraçado" da ferramenta de apoio	35
Figura 3.4: Separador "IV. Cálculo de U_w " da ferramenta de apoio	37
Figura 4.1: Imagem satélite (direita) do edifício multifamiliar (vermelho) e obstáculo (amarelo)	46
Figura 4.2: Representação das alturas correspondentes ao piso térreo, piso intermédio e último piso do edifício multifamiliar	48
Figura 4.3: Planta das frações do último piso (1), piso intermédio (2) e piso térreo (3) e marcação da respetiva envolvente	49
Figura 5.1: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo	58
Figura 5.2: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo	58
Figura 5.3: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo.	60
Figura 5.4: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio	61
Figura 5.5: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio	62
Figura 5.6: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio	63

Figura 5.7: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do último piso.....	64
Figura 5.8: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do último piso.....	65
Figura 5.9: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do último piso.....	66
Figura A.1: Separador "I. Índice" da ferramenta de apoio	74
Figura A.2: Introdução à utilização da ferramenta de cálculo.....	75
Figura A.3: Informações sobre o cálculo do coeficiente U_w em detalhe	75
Figura A.4: Figuras informativas para a configuração do vão envidraçado.....	76
Figura A.5: Requisitos de referência a cumprir para o cálculo 1 e cálculo 2	76
Figura A.6: Opção "1. Configuração sem quadrículas" da ferramenta de apoio.....	77
Figura A.7: Opção "2. Configuração com quadrículas" da ferramenta de apoio	77
Figura A.8: Opção "3. Configuração predefinida" da ferramenta de apoio	78
Figura A.9: Passo 1 - Seleção da configuração escolhida	79
Figura A.10: Passo 2 - Solução para a área transparente	79
Figura A.11: Passo 3 - Solução para o caixilho.....	80
Figura A.12: Passo 4 - Solução para o perfil intercalar ou espaçador.....	80
Figura A.13: Passo 5 – Seleção do coeficiente de transmissão térmica linear da ligação.....	81
Figura A.14: Passo 6 - Obtenção do coeficiente U_w para os cálculos 1 e 2 e comparação com os respetivos requisitos de referência	81
Figura A.15: Base de dados com soluções para a área transparente	82
Figura A.16: Base de dados com soluções para o caixilho	82
Figura A.17: Base de dados com soluções para o perfil intercalar ou espaçador.....	83

Índice de Tabelas

Tabela 1.1: Informações gerais sobre cada estado simulado das frações habitacionais	5
Tabela 2.1: Detalhes construtivos da primeira <i>Passive House</i> , em Darmstadt-Kranichstein, na Alemanha (Fonte: [25])	10
Tabela 2.2: Isolamento térmico e consumo energético para as habitações Rua do Mar (moradia B) e Cestaria (Fonte: [34])	13
Tabela 2.3: Critérios <i>Passive House Standard</i> (Fonte: [15]).....	13
Tabela 2.4: Critérios <i>EnerPHit Standard</i> (Fonte: [15]).....	14
Tabela 2.5: Critérios <i>PHI Low Energy Building Standard</i> (Fonte: [15])	14
Tabela 2.6: Requisitos <i>Passive House</i> para a energia primária renovável (Fonte: [15]).....	15
Tabela 2.7: Coeficiente de transmissão térmica máximo de elementos da envolvente opaca exterior para cada zona climática (Fonte: [45]).....	17
Tabela 2.8: Critérios <i>Passive House</i> para o coeficiente de transmissão térmica máximo do vão envidraçado instalado (Fonte: [54]).....	19
Tabela 2.9: Fator de temperatura mínimo para as diferentes zonas climáticas (Fonte: [15]).....	24
Tabela 2.10: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação para Portugal Continental e Região Autónoma da Madeira (Fonte: [48])	27
Tabela 2.11: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação para a Região Autónoma dos Açores (Fonte: [48])	27
Tabela 2.12: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos vãos envidraçados, não considerando os dispositivos de proteção solar (Fonte: [48])	28
Tabela 2.13: Fatores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares (Fonte: [48])	29
Tabela 2.14: Condições de verificação para um espaço com inércia fraca (Fonte: [48]).....	29
Tabela 2.15: Distâncias mínimas a respeitar entre admissões/entrada de ar e os diferentes locais de emissões de poluentes (Fonte: [48]).....	29
Tabela 2.16: Requisitos de conforto térmico e desempenho energético para edifícios de habitação novos (Fonte: [77])	30
Tabela 2.17: Requisitos de conforto térmico e desempenho energético para edifícios de habitação sujeitos a grande renovação (Fonte: [77])	30
Tabela 3.1: Coeficiente de transmissão térmica linear do efeito da quadrícula interior metálica e plástica (Fonte: [53])	34
Tabela 3.2: Intervalo de valores para a classe de eficiência energética para edifícios de habitação (Fonte: [53]).....	39
Tabela 4.1: Dados climáticos relativos à zona climática de inverno e de verão do edifício multifamiliar	47
Tabela 4.2: Levantamento dimensional dos espaços interiores úteis das frações em estudo	48

Tabela 4.3: Coeficiente de redução (bztu) dos espaços interiores não úteis	49
Tabela 4.4: Coeficientes de transmissão térmica previstos e de referência dos elementos opacos.....	50
Tabela 4.5: Tipos de ligação entre elementos e coeficiente de transmissão térmica linear das respetivas frações habitacionais	51
Tabela 4.6: Orientação e dimensões dos vãos envidraçados	52
Tabela 4.7: Parâmetros dimensionais considerados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados	54
Tabela 4.8: Configuração e soluções de mercado escolhidas para os vãos envidraçados	54
Tabela 4.9: Resultados obtidos para os coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados e respetivo valor médio ponderado a implementar na folha de cálculo Itecons.....	55
Tabela 4.10: Informações gerais e parâmetros avaliados para cada estado da fração de habitação	55
Tabela 4.11: Quadro síntese com os valores implementados na folha Itecons para cada estado da habitação.....	56
Tabela 5.1: Resultados obtidos para a fração de habitação - Piso térreo.....	57
Tabela 5.2: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão, ventilação e ganhos internos e solares brutos, ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no piso térreo.....	59
Tabela 5.3: Resultados obtidos para a fração de habitação - Piso intermédio.....	61
Tabela 5.4: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão e ventilação e ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no piso intermédio	63
Tabela 5.5: Resultados obtidos para a fração de habitação - Último piso	64
Tabela 5.6: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão e ventilação e ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no último piso	66
Tabela 5.7: Variações percentuais relativas às necessidades Nic, Nvc e Ntc entre os estados para as três frações de habitação	67
Tabela 5.8: Rácio entre as necessidades de energia útil para aquecimento da habitação prevista (Nic) e de referência (Ni).....	68
Tabela 5.9: Rácio entre as necessidades de energia útil para arrefecimento da habitação prevista (Nvc) e de referência (Nv).....	68
Tabela B.1: Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação (Fonte: [53])	89
Tabela B.2: Coeficientes de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação (Fonte: [53]).....	89

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A resolução da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável [1], adotada a 25 de setembro de 2015 pela Assembleia Geral das Nações Unidas, tem como principal objetivo integrar e equilibrar as três dimensões do desenvolvimento sustentável: social, económica e ambiental. É um plano de ação que incide no combate à desigualdade social, promovendo uma sociedade justa, pacífica e inclusiva, na proteção do planeta da degradação através de uma gestão eficiente e sustentável dos recursos naturais e no compromisso de que todos os seres humanos possam usufruir de um ambiente próspero e saudável, contemplando de uma forma equilibrada todas as dimensões de desenvolvimento sustentável. A agenda inclui 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas associadas a serem alcançadas até 2030 (Figura 1.1).



Figura 1.1: Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Fonte: [2])

A presente dissertação enquadra-se no 11º objetivo de desenvolvimento sustentável – Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS11) [3] - no qual visa enfrentar os desafios impostos pela urbanização, assegurando uma gestão segura, sustentável e inclusiva das cidades, nomeadamente, através de:

- Acesso a serviços básicos, habitações e sistemas de transporte adequados, seguros e sustentáveis para todos e modernização dos bairros de lata, até 2030;
- Melhoria da gestão de resíduos urbanos, da qualidade do ar, do planeamento urbano e das infraestruturas citadinas, de modo a reduzir o impacto ambiental adverso;
- Promoção de espaços públicos seguros, inclusivos e verdes, especialmente para os grupos mais vulneráveis (crianças, mulheres, idosos e pessoas deficientes), até 2030.

De acordo com a ONU [4], mais de metade da população mundial, 3.5 mil milhões de pessoas, vive atualmente em cidades, prevendo-se que se atinja os 5 mil milhões de pessoas até 2030 devido ao crescimento exponencial da população urbana nos países em desenvolvimento. Embora ocupem apenas 3% do território terrestre, as cidades são responsáveis mundialmente por 60 a 80% do consumo de

energia e por 75% das emissões carbónicas. A rápida urbanização está a resultar num número crescente de habitantes em bairros desfavorecidos, com infraestruturas e serviços inadequados, nomeadamente no saneamento de águas residuais urbanas e na gestão de resíduos urbanos, estradas e transportes, agravando a poluição atmosférica e a expansão urbana não planeada. Deste modo, é necessário a cooperação de cada país através da aplicação de medidas de gestão urbana sustentável e segura para o cumprimento do objetivo ODS11, permitindo assim tornar realidade o desenvolvimento sustentável a nível local.

A atual Diretiva n.º 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio [5] relativa ao desempenho energético dos edifícios, enuncia a meta ambiciosa de longo prazo até 2050 relativa às emissões de gases com efeito de estufa e à descarbonização do parque imobiliário, que é responsável por cerca de 40% do consumo energético e 36% das emissões de CO₂ na União Europeia. Para isso, é necessário que os Estados-Membros estabeleçam orientações claras e ações específicas e promovam o acesso equitativo a financiamento, nomeadamente, para situações de pobreza energética. Devem ser criadas estratégias de renovação a longo prazo do parque nacional de edifícios residenciais e não residenciais, sejam estes públicos ou privados, para uma transformação dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia, nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*).

O termo nZEB surgiu anteriormente na Diretiva n.º 2010/31/UE [6] do Parlamento Europeu, de 19 de maio, relativa ao desempenho energético dos edifícios, onde um edifício nZEB representa um edifício com elevado desempenho energético e no qual as necessidades quase nulas ou muito pequenas de energia são cobertas, na sua maioria, por energia proveniente de fontes renováveis produzida no local ou com origem na proximidade do edifício, quando aquela não for suficiente. Definiu-se como objetivo que todos os edifícios novos, residenciais e de comércio e serviços, sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia ou muito pequenas o mais tardar em 31 de dezembro de 2020. Cada estado-membro deve estabelecer um plano nacional no qual inclui pormenorizadamente a definição de edifícios nZEB e de que forma é aplicada na prática, que reflita as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m² por ano.

A integração de renováveis no edifício, utilizada no local ou exportada, permitirá reduzir as necessidades de energia primária associadas à energia fornecida. Em muitos casos, essa redução não será suficiente para atingir os níveis quase nulos de energia sem outras medidas de eficiência energética ou sem uma diminuição significativa dos fatores relativos à energia primária para as fontes de energia renováveis fora do local. A utilização de energia primária deve ser calculada pela utilização de fatores de conversão específicos para cada vetor de energia (por exemplo, eletricidade, fuelóleo para aquecimento, biomassa, redes urbanas de aquecimento e arrefecimento). De acordo com a regulamentação, o fator de energia primária é de 2,5 kWh_{EP}/kWh para a eletricidade (renovável ou não renovável) fornecida e exportada e de 1 kWh_{EP}/kWh para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis e energia térmica renovável [7].

Relativamente ao desempenho energético e do conforto térmico do edifício, estabelecem-se requisitos ao nível dos elementos construtivos da envolvente e sistemas técnicos pertinentes num edifício, como os elementos passivos que fazem parte de técnicas passivas que visam reduzir as necessidades de energia para aquecimento ou para arrefecimento e o uso de energia para iluminação e para ventilação, de forma a melhorar o conforto térmico e visual [5]. Assim, os edifícios novos ou reabilitados estão sujeitos a requisitos mínimos de desempenho energético que devem ser revistos periodicamente, no mínimo de cinco em cinco anos e, se necessário, atualizados com o objetivo de refletir o progresso técnico no setor dos edifícios [6]. No âmbito da atual diretiva, é publicado a nível nacional o Decreto-lei n.º 101-D/2020,

de 7 de dezembro, no qual estabelece requisitos aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios, com o intuito de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético.

Os Estados-Membros devem estabelecer metas e ações nacionais para alcançar os objetivos de eficiência energética a curto (2030), médio (2040) e longo prazo (2050). A nível nacional, foi divulgado em 2020, o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030) [8], no qual inclui as principais linhas de ação entre 2021 e 2030. Este plano é articulado com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) [9], publicado em 2019, com estratégias de longo prazo para a descarbonização de todos os setores da economia, promovendo melhorias ao nível da eficiência e inovação.

No âmbito da redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), prevê-se uma redução de 45% a 55% até 2030, de 65% a 75% até 2040 e de 85% a 90% até 2050 (face a 2005). De acordo com o roteiro, a modelação inclui as emissões dos setores da energia, indústria, edifícios, transportes, agricultura e usos de solo, e resíduos e águas industriais. Relativamente aos edifícios, prevê-se uma redução das emissões de GEE de 48 a 49% até 2030, de 73 a 74% até 2040 e de 85% até 2050. A descarbonização do setor residencial advém da tendência para a eletrificação do mesmo, que representa atualmente o vetor energético principal, do reforço do isolamento térmico e da reabilitação urbana (ex. substituição das janelas) e pela utilização de equipamentos mais eficientes, como, por exemplo, bombas de calor e solar térmico [9].

Os edifícios residenciais e de serviços são atualmente responsáveis por 5% das emissões nacionais de GEE. Os edifícios são grandes consumidores de energia sendo atualmente responsáveis por cerca de 30% do consumo de energia final e são uma das fontes mais importantes de emissão de CO₂. Este consumo de energia está associado ao fornecimento de serviços de energia como aquecimento e arrefecimento de espaços, iluminação, refrigeração e confeção de alimentos, aquecimento de águas sanitárias, entre outros. No setor residencial, estima-se uma redução das emissões de 96% a 97% e de 100% no setor dos serviços em 2050 (face a 2005). Atualmente, a incorporação das energias renováveis para aquecimento e arrefecimento é de 34% (2020) o equivalente em 2015. Estima-se que a incorporação de renováveis será de 41% a 49% até 2030, de 58% a 60% até 2040 e de 66% a 68% até 2050 [9].

De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), verifica-se que, em Portugal, o setor doméstico ocupa o terceiro lugar com maior consumo energético em 2020, com 19,5% do consumo de energia final. Este valor aumentou face ao ano 2000 com 16,2% do consumo de energia final. No que respeita ao consumo de energia no alojamento, a eletricidade manteve-se como principal fonte de energia consumida no sector doméstico em 2020, representando 46,4% do consumo total de energia (42,6% em 2010), seguindo-se a biomassa com 18,4% e o gás natural com 12,4% do consumo total de energia [10].

Os edifícios têm impacto significativo no ambiente. A mitigação dos seus efeitos tem vindo a tornar-se uma questão de preocupação por parte dos países. Os impactos para o ambiente estão associados sobretudo à utilização de materiais que são extraídos da natureza, da sua transformação, e da sua demolição em fim de vida, e ainda da energia utilizada para a manutenção das condições de conforto térmico e qualidade do ar no interior dos edifícios. A utilização de materiais com baixo carbono incorporado, a redução das necessidades energéticas e a utilização de fontes de energia renováveis no período de vida útil do edifício são questões fundamentais a ter em conta para a redução dos impactos ambientais [11].

1.2 Objetivos e perguntas de investigação

Foi publicado a 7 de dezembro de 2020, o Decreto-Lei nº101-D/2020 [12], que estabelece requisitos aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios, com o intuito de assegurar e promover a melhoria do respetivo desempenho energético, e regulamenta o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), pela transposição, para a ordem jurídica nacional, da Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, por alteração da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

No referido decreto, é imposto um novo critério no qual indica que a verificação do cumprimento dos requisitos aplicáveis ao nível dos componentes - envolvente e sistemas técnicos - relativos a edifícios novos ou sujeitos a renovações, é agora da responsabilidade dos técnicos autores dos projetos¹, sendo que os projetos devem conter um grau de detalhe das soluções adotadas que possibilite a demonstração do cumprimento desses mesmos requisitos e a execução dessas soluções projetadas em obra².

Neste sentido, a presente dissertação tem como objetivo auxiliar os técnicos autores de projeto no cumprimento dos requisitos aplicáveis para as soluções projetadas através do desenvolvimento de uma ferramenta de apoio detalhada e expedita, na qual agrega informações sobre soluções técnicas direcionadas para a envolvente envidraçada dos edifícios de habitação e que cumpram tanto os requisitos da norma *Passive House* como da regulamentação que se encontra em vigor (Portaria n.º138-I/2021).

A ferramenta de apoio permitirá a determinação do coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado (U_w) com uma determinada configuração, cujos parâmetros relativos aos componentes constituintes do vão envidraçado, nomeadamente, a área transparente, o caixilho e perfil intercalar ou espaçador, serão retirados de uma base de dados presente na mesma ferramenta com soluções já certificadas pela *Passive House Institute* (PHI).

Numa segunda fase do estudo, pretende-se aplicar a ferramenta de apoio no âmbito da análise e caracterização do desempenho energético de três frações habitacionais (piso térreo, piso intermédio e último piso) de um edifício localizado no Bairro da Tabaqueira, na freguesia de Rio de Mouro, no concelho de Sintra. As frações serão submetidas a quatro estados diferentes – *Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado* – onde os três últimos representam medidas de melhoria aplicadas ao nível da envolvente envidraçada. As informações gerais relativas a cada estado encontram-se na Tabela 1.1.

A classe energética obtida nas três frações em cada estado foi conseguida através do preenchimento de uma folha de cálculo disponibilizada pela Itecons do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade da Universidade de Coimbra, para avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios de habitação, que segue a metodologia de cálculo presente no Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho, e está de acordo com o Decreto-Lei nº101-D/2020 [78].

A ferramenta de apoio será aplicada na simulação do último estado a que as frações habitacionais serão submetidas (*PH calculado*) para a determinação do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados que constituem essas frações.

¹ n.º5 artigo 6º e n.º2 artigo 7º do Decreto-Lei nº101-D/2020. “Técnico autor de projeto”, é o técnico legalmente habilitado para realizar o projeto e responsável pelo cumprimento da legislação aplicável [12].

² n.º7 artigo 6º do Decreto-Lei nº101-D/2020 [12].

Tabela 1.1: Informações gerais sobre cada estado simulado das frações habitacionais

Estado da fração de habitação	Informações gerais
<i>Estado inicial</i>	Representa a fração de habitação no seu estado original, ou seja, sem a aplicação de quaisquer medidas de melhoria. Os valores aplicados no âmbito da envolvente opaca, envidraçada, ventilação e sistemas técnicos para aquecimento e arrefecimento ambiente e preparação de águas quentes sanitárias (AQS) estão indicados nos subcapítulos 4.4 a 4.7.
<i>SCE 2020</i> (1ª medida de melhoria)	Simulação da fração de habitação como uma habitação de referência pela implementação de requisitos de referência de desempenho energético para a envolvente do edifício, ventilação e sistemas técnicos conforme a nova regulamentação (Portaria n.º138-I/2021) e o Manual SCE (subcapítulo 2.7.2). Nesta situação, é aplicada a primeira medida de melhoria no âmbito dos vãos envidraçados, na qual é feita a substituição do vão envidraçado do <i>Estado inicial</i> por outro com melhor desempenho energético.
<i>PH referência</i> (2ª medida de melhoria)	Simulação da fração de habitação semelhante ao estado anterior, mas com a alteração do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado utilizado no estado anterior (<i>SCE 2020</i>) pelo valor de referência <i>Passive House</i> correspondente para a zona climática de Portugal (Tabela 2.8), e alteração do coeficiente de transmissão térmica linear anterior de modo a obter uma conceção sem pontes térmicas lineares (PTL). Nesta situação, é aplicada a segunda medida de melhoria no âmbito dos vãos envidraçados.
<i>PH calculado</i> (3ª medida de melhoria)	Simulação da fração de habitação semelhante ao estado anterior, mas com a alteração do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado anterior (<i>PH referência</i>) pelo coeficiente calculado através da ferramenta de apoio, mencionada no subcapítulo 3.1. Esta situação representa a terceira medida de melhoria no âmbito dos vãos envidraçados.

Pretende-se atingir o objetivo referido anteriormente respondendo às seguintes perguntas técnicas:

- Que requisitos de desempenho, relativos à norma *Passive House* e à regulamentação sobre desempenho energético de edifícios devem ser considerados para as componentes do edifício?
- Verificou-se uma melhoria da classe energética nas frações habitacionais entre os estados *SCE 2020* e *PH referência*, tendo em conta a utilização de diferentes valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado (Despacho n.º 6476-H/2021 e *Passive House*)?
- De que forma é que o valor calculado através da ferramenta de cálculo utilizado para o estado *PH calculado* influenciará o desempenho energético das frações de habitação face aos estados *SCE 2020* e *PH referência*?

1.3 Organização do documento

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos:

- No capítulo 1 apresenta-se o enquadramento da dissertação no respetivo objetivo de desenvolvimento sustentável, bem como os objetivos e perguntas de investigação do presente estudo.
- No capítulo 2 apresenta-se a revisão bibliográfica relativa ao conceito *Passive House* e os seus princípios fundamentais, sendo que o presente trabalho incide sobretudo no princípio da elevada eficiência dos vãos envidraçados. Inclui ainda uma breve introdução ao desempenho energético dos edifícios e o seu enquadramento legislativo, os requisitos de referência no âmbito da envolvente do edifício (envolvente opaca e envidraçada) e sistemas de ventilação e, ainda, os requisitos de desempenho energético e conforto térmico.
- No capítulo 3 enuncia-se a metodologia de cálculo para a determinação da classe energética de uma habitação e a metodologia utilizada para o desenvolvimento da ferramenta de apoio.
- No capítulo 4 apresentam-se os casos de estudo, nomeadamente, a localização das frações habitacionais e dados climáticos, o levantamento dimensional, soluções construtivas para a envolvente, ventilação e sistemas técnicos e a descrição de cada simulação ou estado das frações.
- No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos e a sua discussão, tendo por base a metodologia de cálculo do capítulo anterior, bem como a comparação entre as frações habitacionais nos diferentes estados simulados.
- No capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste trabalho e sugestões futuras.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Conceito *Passive House*

Passive House, ou *Passivhaus*, em alemão, é um conceito construtivo que define um padrão de elevado desempenho que é, simultaneamente, eficiente, sob o ponto de vista energético, saudável, confortável, economicamente acessível e sustentável [13].

A norma *Passive House* é aplicada na conceção e reabilitação de edifícios e inclui um conjunto de requisitos e princípios de elevado desempenho energético. Os princípios fundamentais baseiam-se, sobretudo, no excelente isolamento térmico, na utilização de janelas altamente eficientes integradas diretamente na camada isolante da habitação, na minimização de pontes térmicas, na estanquidade ao ar e, ainda, num sistema de ventilação com recuperação de calor eficiente [14]. Com exceção deste último, os restantes princípios representam medidas passivas, que permitem aquecer e arrefecer o espaço interior sem qualquer uso de equipamentos mecânicos para controlar a temperatura ambiente. Para além destes princípios da construção passiva, existem outras medidas fundamentais que permitem um elevado desempenho energético e conforto térmico, nomeadamente, a orientação da construção em relação ao sol, a utilização de sombreamento nas janelas para reduzir os ganhos de calor solares, a ventilação natural por intermédio de janelas, grelhas ou aberturas para a renovação do ar interior [16].

Relativamente aos requisitos energéticos, a norma inclui limites exigentes para as necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento, bem como para produção e consumo de energia primária renovável. A combinação dos princípios e requisitos energéticos permite um elevado nível de conforto térmico e de qualidade do ar interior com o mínimo consumo de energia, independentemente do clima em que se localiza o edifício [15].

O isolamento térmico do edifício, proporcionado pelos elementos da envolvente opaca, nomeadamente, cobertura, pavimento, parede, zonas de ponte térmica plana e linear e portas, e a utilização de janelas de elevada eficiência energética, permitem que o calor seja retido durante muito tempo no interior do edifício. Por este motivo, o aquecimento “ativo” só será necessário durante dias extremamente frios, requerendo apenas o mínimo de energia para satisfazer essas necessidades. No verão, a utilização de sistemas de sombreamento mantém apenas o calor necessário no seu interior, não havendo a necessidade de utilização dos sistemas de arrefecimento ativos [16]. As poupanças energéticas verificadas para o aquecimento e arrefecimento de uma *Passive House* podem atingir os 90%, em comparação com os edifícios existentes, e até 75%, em comparação com os novos [13].

A qualidade do ar interior é assegurada pelos sistemas de ventilação que permitem a circulação de ar novo sem causar correntes de ar desagradáveis e, deste modo, assegurar o conforto térmico e uma vida saudável. Estes sistemas incluem ainda uma unidade de recuperação de calor altamente eficiente, que permite que o calor contido no ar extraído do interior seja recuperado para aquecer o ar novo [13].

Do ponto de vista ambiental, as casas passivas contribuem para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂), devido ao seu elevado nível de eficiência energética. Tendo em conta que consomem pouca energia primária durante o período de utilização, contribuem para a preservação dos recursos limitados, tais como o gás natural e o petróleo. Para além disso, a baixa procura de energia pode ser facilmente suprida por fontes de energia renovável [17], correspondendo desta forma ao conceito de edifícios nZEB.

2.2 Revisão histórica

A preocupação com a eficiência energética sempre existiu de forma latente, no entanto, a sua consciência só ocorreu no séc. XIX. No domínio construtivo, a investigação baseava-se sobretudo em estudos sobre o efeito do isolamento térmico na transferência de calor, na formação da humidade nas paredes, nas configurações de janelas, etc. No séc. XX, os investigadores já tinham os fundamentos teóricos e tecnológicos necessários para construir as futuras casas energeticamente eficientes [18].

Com a primeira crise petrolífera de 1973, o interesse pela eficiência energética dos edifícios aumentou significativamente. Nesse ano, foi construída a primeira casa de consumo energético zero, *DTH Zero-Energy House* (Figura 2.1) pelo professor Vagn Korsgaard, em Copenhaga, na Dinamarca, também definida como sendo uma casa passiva [19]. Foi projetada de modo a poder ser aquecida durante todo o inverno sem qualquer recurso a energia “artificial”, sendo a fonte principal a energia solar. A conservação do calor no edifício era possível pelo seu bom isolamento térmico (isolamento de lã mineral de 30-40 cm) e pela unidade de recuperação de calor no sistema de ventilação. O sistema de aquecimento solar foi dimensionado para cobrir as necessidades de aquecimento e para fornecer água quente durante todo o ano através de coletores solares (42 m^2) e de um tanque para armazenamento de água quente. As necessidades para aquecimento estimadas para este edifício eram de $2\,300 \text{ kWh/ano}$. Para uma casa típica, bem isolada, de um andar e para uma família, construída na Dinamarca, a energia necessária para aquecimento correspondente era de $20\,000 \text{ kWh/ano}$ [20]. Para além desta, foram, ainda, construídas outras casas com o mesmo propósito, porém, a redução do consumo de energia a zero é um objetivo muito exigente, no qual implica a utilização de sistemas técnicos muito dispendiosos.

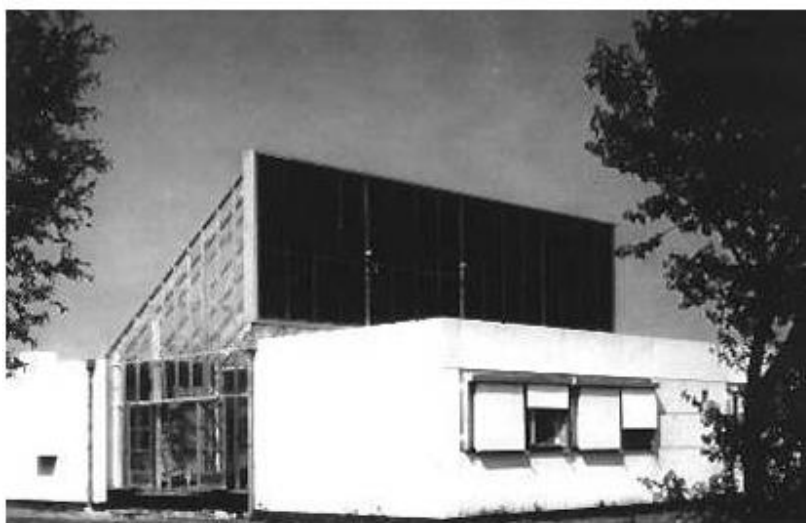


Figura 2.1: DTH Zero-Energy House, em Copenhaga, na Dinamarca (Fonte: [19])

Em 1974, foi lançado o projeto *Philips Experimental House Project*, em Aachen, na Alemanha (Figura 2.2), que serviria como protótipo experimental para monitorização e investigação, e que acabou por ser fundamental para impulsionar o estudo de soluções energeticamente eficientes. Foi inspirado em investigações feitas na Noruega, Suécia e Dinamarca para casas de baixo consumo energético, *Low-energy house* (LEH), e nos edifícios solares passivos já estudados nos EUA. Tratava-se de uma casa com elevado nível de isolamento (coeficiente de transmissão térmica U de $0,14 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$), janelas eficientes de vidro duplo, um sistema de ventilação controlado com recuperação de calor e com uma eficiência de 90%, e necessidades para aquecimento de $20\text{-}30 \text{ kWh/(m}^2\text{.ano)}$. O projeto terminou em 1983/84 [21][22].



Figura 2.2: *Philips Experimental House Project*, em Aachen, Alemanha (Fonte: [22])

A implementação de casas de baixo consumo energético (LEH) provou-se que seria uma solução mais simples e económica. Estas têm uma procura anual de aquecimento inferior a $70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, com base no espaço de habitação. Na Suécia, no início dos anos 80, já tinham sido construídas numerosas casas de baixo consumo de energia para projetos de investigação e demonstração. Devido ao sucesso da norma, construíram-se sobretudo casas de baixo consumo energético até meados dos anos 80. Em 1991, tornou-se obrigatório com o objetivo de alcançar a independência dos combustíveis fósseis [23].

Na década de 70 e 80, sucederam outros desenvolvimentos, nomeadamente, edifícios super-isolados nos EUA ou edifícios de baixo consumo energético na Suécia, desenvolvidas pelo arquiteto Hans Eek. No entanto, os problemas mais significativos destes edifícios incluíam a falta de reconhecimento da estanquidade ao ar, ausência de soluções para janelas de elevado desempenho energético, e sistemas tecnológicos dispendiosos e pouco eficientes [19].

A maior exigência dos princípios aplicados anteriormente nos edifícios, como o isolamento da envolvente do edifício, a estanquidade do ar, janelas isolantes, prevenção de pontes térmicas e ventilação controlada, permitiu o lançamento da norma *Passive House*, em Maio de 1988, pelo professor Wolfgang Feist, durante um período de investigação na Universidade de Lund, na Suécia, juntamente com o professor Bo Adamson, especialista na construção de edifícios [24].

A primeira casa passiva foi construída em Darmstadt-Kranichstein, na Alemanha (Figura 2.3), com o apoio do *Hessian Ministry of the Environment*. O edifício foi concluído em outubro de 1991, com quatro habitações numa disposição de tipo terraço, e tem sido ocupado desde então por quatro famílias. A casa foi construída com base nos princípios rigorosos da *Passive House*: bom isolamento térmico (detalhes construtivos na Tabela 2.1), utilização otimizada da energia solar passiva e uma unidade de recuperação de calor altamente eficiente (eficiência superior a 80%). Para além disso, inclui coletores solares para o fornecimento de água quente e um permutador de calor no subsolo para pré-aquecimento do ar. Através de uma monitorização detalhada, verificou-se que, em 1994/95, o consumo energético anual relativo ao aquecimento era inferior a $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ [25].

Tabela 2.1: Detalhes construtivos da primeira *Passive House*, em Darmstadt-Kranichstein, na Alemanha (Fonte: [25])

Componente	Descrição	Coefficiente de transmissão térmica U [W/(m ² .K)]
Cobertura	Cobertura verde, estrutura em madeira e isolamento constituído por lã de rocha (445 mm)	0,10
Parede exterior	275 mm de isolamento de espuma rígida de poliestireno expandido; 175 mm de blocos de calcário; 15 mm de estuque de gesso; revestimento de madeira	0,14
Pavimento	250 mm de isolamento de espuma rígida de poliestireno expandido; 160 mm de betão; 40 mm de isolamento de poliestireno	0,13
Janelas	Vidro triplo de baixa emissividade com preenchimento de gás Krypton; caixilho em madeira com isolamento de espuma de poliestireno	0,70



Figura 2.3: *Passive House* em Darmstadt-Kranichstein, Alemanha (Fonte: [26])

Em 1996, Dr. Wolfgang Feist fundou o *Passivhaus Institute* (PHI) em Darmstadt, na Alemanha, com o objetivo de desenvolver e promover a norma *Passive House* através da utilização de uma ferramenta que permite a sua aplicação em qualquer edifício – *Passive House Planning Package* (PHPP) [27]. O PHPP é um programa de software de balanço energético que é utilizado para o planeamento energético e verificação do cumprimento das normas energéticas definidas pelo PHI [17].

Para além da norma *Passive House Standard*, foram ainda implementadas outras duas normas energéticas pelo PHI para certificação dos edifícios: *EnerPHit Standard* e *PHI Low Energy Building Standard*. A primeira foi introduzida em 2010, para a reabilitação de edifícios recorrendo a componentes certificados pela *Passive House*. A segunda foi implementada em 2015 para edifícios, que por diversas razões, não conseguem alcançar os critérios rigorosos da norma *Passive House*, sendo que nestes casos os requisitos são menos exigentes do que os verificados para a norma *Passive House* [17].

2.3 Projetos europeus

- CEPHEUS - *Cost Efficient Passive Houses as European Standards*

Um dos primeiros projetos europeus para a promoção e implementação do conceito *Passive House* foi o projeto CEPHEUS, que iniciou em janeiro de 1998 e terminou em dezembro de 2001. Tinha como principal objetivo demonstrar a viabilidade técnica da implementação do conceito em edifícios de diversos países europeus (França, Suíça, Alemanha, Áustria e Suécia). O projeto permitiu a construção de 221 unidades habitacionais, face ao objetivo primário de 250 habitações, nos diferentes países europeus em estudo e provou-se a sua viabilidade funcional a nível europeu [28].

- *Passive-On*

Em 2005, iniciou-se o projeto *Passive-On* [29] financiado pelo programa da Comissão Europeia *Intelligent Energy Europe* (IEE), com uma duração de 33 meses (janeiro 2005 – setembro 2007), para a promoção e disseminação de casas passivas em climas quentes. Fundamentalmente, consistia em analisar a sua aplicabilidade em países do sul da Europa, como Portugal, Espanha e Itália, mas também em países como o Reino Unido e a França, considerados como climas “temperados”. Como resultado, verificou-se que as necessidades de aquecimento eram relativamente baixas na maioria dos países e na generalidade eram inferiores ao limite de 15 kWh/(m².ano).

A proposta de casa passiva em Portugal consistia num edifício de habitação com 110 m², localizado em Lisboa. O nível de isolamento nas paredes exteriores (100 mm) e na cobertura (150 mm) era de 0,32W/(m².K) e 0,23W/(m².K), respetivamente. Relativamente às janelas, o vidro duplo incolor típico foi a opção economicamente mais viável (valor U de 2,9 W/(m².K)), sendo que nos climas frios de Portugal, as soluções com vidros duplos de baixa emissividade podiam ser energeticamente mais eficientes ($U = 1.9$ W/(m².K)).

As necessidades energéticas anuais para o aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias (AQS) eram supridas através de um sistema solar térmico e foram estimadas em 16,9 kWh/(m².ano), das quais 11 kWh/(m².ano) eram fornecidas pelos painéis solares. Para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades energéticas anuais foram de 5,9 kWh/(m².ano) e 3,7 kWh/(m².ano), respetivamente. Comparativamente, os limites para as necessidades de aquecimento e arrefecimento para uma casa *standard* em Lisboa, de acordo com a regulamentação energética nacional (DL 80/2006), eram de 73,5 e 32 kWh/(m².ano), respetivamente. Provou-se, assim, a viabilidade da implementação da *Passive House* nas casas portuguesas.

Mais recentemente, foram criados diversos projetos que promovem a construção e reabilitação do parque imobiliário com o intuito de atingir os objetivos energéticos e climáticos da Europa para 2020 e 2030.

- PassREg - *Passive House Regions with Renewable Energies*

O projeto PassREg [30] apoiado pelo programa IEE da Comissão Europeia, encorajou os municípios e regiões a assumirem um papel relevante para a aplicação do conceito nZEB nos edifícios. Desta forma, o projeto baseava-se no facto de que a combinação da norma *Passive House* com a produção de energias renováveis no local ou nas proximidades, era a base ideal para os edifícios nZEB. O projeto iniciou-se em maio de 2012 e terminou em abril de 2015, com a participação de dez países europeus, incluindo Portugal. Os países piloto, denominados de “front runners”, incluíam as regiões de Hannover (Alemanha), Bruxelas (Bélgica) e Tyrol (Áustria). O sucesso verificado para estas regiões permitiu

encorajar e ajudar outras regiões e municípios menos experientes a seguir o mesmo exemplo, incluindo o município de Águeda, em Aveiro.

No dia 2 de fevereiro de 2015, a câmara municipal de Águeda em conjunto com a Associação *Passivhaus* Portugal (PHPT), tomaram a decisão oficial para se tornar o 1º Município *Passivhaus*. O município comprometeu-se, assim, a adotar a norma para a construção e a reabilitação do parque edificado, nomeadamente, da câmara municipal e da habitação social. Em 2018, foi lançado o desafio à Região Autónoma dos Açores para se tornar a 1ª Região *Passivhaus* [31].

- *AZEB - Affordable Zero Energy Buildings*

Ainda na perspetiva de promover o objetivo a nível europeu para a implementação de edifícios nZEB até 2020, o projeto europeu AZEB [32] teve como objetivo desenvolver e promover uma metodologia comum que possa ser aplicada pelo setor da construção para alcançar edifícios de balanço energético (quase) zero a preços acessíveis, através da otimização do processo em todas as fases do projeto. O projeto baseava-se na avaliação das melhores práticas e soluções disponíveis, nomeadamente, pela aplicação de requisitos energeticamente eficientes da norma *Passive House* aos componentes do edifício. Contou com a participação de oito parceiros europeus (Espanha, Bulgária, Alemanha, França e Holanda) e teve a duração de 36 meses (maio de 2017 a abril de 2020). Após o projeto, a AZEB continua sob uma nova forma, coordenada por vários dos parceiros envolvidos.

- *outPHit*

Relativamente à reabilitação dos edifícios, existe presentemente o projeto outPHit [33] e tem como objetivo a implementação de princípios de reabilitação altamente eficientes que cumpram a norma *EnerPHit Standard* em projetos de reabilitação real na Europa. É um projeto financiado pelo programa *European Union's Horizon 2020*, com duração de 36 meses (de outubro de 2020 a agosto de 2023). Os casos de estudo localizam-se sobretudo na Grécia, França, Espanha, Áustria e Alemanha.

2.4 *Passive House* em Portugal

As primeiras *Passive House* certificadas em Portugal correspondem a duas habitações unifamiliares, localizadas em Ílhavo, Aveiro: Rua do Mar - moradia A e moradia B – concluídas em 2013 e 2012, respetivamente. Em 2015, foi concluída a primeira casa passiva no setor do turismo, a “Cestaria”, como resultado de um projeto de reconstrução e encontra-se localizada numa zona de proteção patrimonial, Costa Nova, em Ílhavo. As informações sobre as características térmicas e o consumo energético, calculado de acordo com o software PHPP, para a moradia B e a casa turística “Cestaria”, estão representadas na Tabela 2.2.

Para além de novas construções, foram feitas duas reabilitações *Passive House*, localizadas em Ílhavo, Aveiro. A primeira foi feita num escritório (nZEBoffice+) e a segunda numa habitação unifamiliar, concluídas em 2018 e 2021, respetivamente. Atualmente, encontram-se em curso a conceção de sete habitações unifamiliares, localizadas no Porto, Aveiro, Seixal e Coimbra, e a reabilitação de um hotel, em Tortosendo. A conceção e reabilitação das habitações mencionadas anteriormente são da autoria da empresa portuguesa Homegrid, que em conjunto com a Associação *Passivhaus* Portugal, são responsáveis pela implementação do conceito *Passive House* em Portugal [34].

Tabela 2.2: Isolamento térmico e consumo energético para as habitações Rua do Mar (moradia B) e Cestaria (Fonte: [34])

Habitação	Moradia B	Cestaria
Isolamento térmico		
Parede exterior (U_{par} [W/(m ² .K)])	0,262	0,298
Pavimento (U_{pav} [W/(m ² .K)])	0,421	0,408
Cobertura (U_{cob} [W/(m ² .K)])	0,234	0,231
Janela (U_w [W/(m ² .K)])	1,44	0,91
Eficiência de recuperação de calor (η)	75%	82%
Teste de pressurização n_{50} [h ⁻¹]	0,45	0,41
Consumo energético		
Consumo de aquecimento ambiente (calculado pelo PHPP) [kWh/(m ² .ano)]	8	13
Consumo de arrefecimento ambiente (calculado pelo PHPP) [kWh/(m ² .ano)]	0	0
Carga de aquecimento [W/m ²]	9	10
Consumo PER (energia primária renovável) [kWh/(m ² .ano)]	20	31
Produção de energia renovável [kWh/(m ² .ano)]	27	24
Consumo PE (energia primária não renovável) [kWh/(m ² .ano)]	43	55

2.5 Requisitos energéticos

Um edifício é considerado como *Passive House* se for planeado de acordo com a ferramenta de cálculo PHPP e verifique todos os critérios da norma *Passive House* [35]. Existem três tipos de critérios para certificação de edifícios: *Passive House Standard*, *EnerPHit Standard* e *PHI Low Energy Building Standard* [15].

Os edifícios certificados como *Passive House Standard* devem obedecer ao conjunto de requisitos de desempenho energético representados na Tabela 2.3. Este tipo de critério é aplicado geralmente em edifícios novos e para qualquer zona climática em que se localiza.

Tabela 2.3: Critérios *Passive House Standard* (Fonte: [15])

Parâmetro	Critério ³
Necessidades anuais de aquecimento ou carga de aquecimento	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Necessidades anuais de arrefecimento ou carga de arrefecimento	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ + contribuição da desumidificação ⁴ $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
Estanquidade ao ar (resultado do teste de pressurização n_{50})	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$

³ Os critérios são aplicados a todas as zonas climáticas do mundo e a área de referência utilizada é a área útil interior (*Treated floor area*, TFA) obtida no software PHPP, exceto a produção de energia renovável (através da área projetada do edifício) e a estanquidade ao ar (através do volume líquido do ar) [15].

⁴ Fração de desumidificação sujeita a dados climáticos, taxa de renovação de ar necessária e cargas internas de humidade (cálculo no PHPP) [15].

O requisito para as necessidades de aquecimento foi definido com base na possibilidade de aquecimento através da recuperação de calor. Pode ser distribuída apenas uma certa quantidade de calor através de um permutador de calor interligado ao sistema de ventilação. O sistema de ventilação tem assim uma dupla função (ar fresco e aquecimento) e reduz ao mínimo o investimento necessário para a distribuição de calor [36].

Os edifícios sujeitos a reabilitações utilizando componentes certificados pela *Passive House* são normalmente certificados pela *EnerPHit Standard*. Nesta situação, os edifícios devem ser certificados de acordo com o método do balanço energético, através do cumprimento dos critérios definidos para o consumo energético que variam consoante a zona climática em que se localizam, representados na Tabela 2.4. Em alternativa, podem ser certificados pelo método dos componentes, pelo cumprimento dos valores de referência dos componentes do edifício (envolvente opaca, envidraçada) enunciados na Tabela 2.7 e Tabela 2.8, e da ventilação. Nesta situação, o valor obtido do teste de pressurização deve ser inferior ou igual a 1 h^{-1} .

Tabela 2.4: Critérios *EnerPHit Standard* (Fonte: [15])

Zona Climática	Necessidades de aquecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$]	Necessidades de arrefecimento + desumidificação [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$]
Ártico	35	Igual ao critério <i>Passive House Standard</i> $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ + contribuição da desumidificação
Frio	30	
Frio, temperado	25	
Ameno, temperado	20	
Ameno	15	
Quente	-	
Muito quente	-	

A certificação *PHI Low Energy Building* é aplicada na situação em que o edifício não cumpra totalmente com os critérios energéticos da *Passive House* referidos anteriormente, bem como ao nível dos componentes. Neste caso, os edifícios devem obedecer aos limites máximos representados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Critérios *PHI Low Energy Building Standard* (Fonte: [15])

Parâmetro	Critério
Necessidades anuais de aquecimento	$\leq 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
Necessidades anuais de arrefecimento	$\leq \text{requisito } Passive House^5 + 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$
Estanquidade ao ar (resultado do teste de pressurização n_{50})	$\leq 1 \text{ h}^{-1}$
Necessidades de energia primária renovável (PER)	$\leq 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$

⁵ Valor máximo entre os dois critérios *Passive House* alternativos para as necessidades de arrefecimento. Para Portugal, o valor máximo corresponde a $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ (zona climática amena). Não se aplica o critério para a carga de arrefecimento [15].

Os requisitos para a procura de energia primária renovável e para a produção de energia renovável, aplicados tanto à *Passive House Standard* como para a *EnerPHit Standard*, foram introduzidas em 2015 e estão divididos em três classes: *Classic*, *Plus* ou *Premium* (Tabela 2.6).

A energia primária renovável (PER) representa a quantidade de energia que precisa de ser produzida de forma sustentável a partir de fontes de energia renováveis, a fim de fornecer uma determinada quantidade de energia ao utilizador final [37]. As necessidades anuais de aquecimento e/ou arrefecimento mantêm-se limitadas aos 15 kWh/(m².ano), mas com a introdução das novas categorias, será utilizada a procura global de energia primária renovável (PER) em vez da procura de energia primária não renovável (PE), que era anteriormente utilizada: $PE \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ [38].

Tabela 2.6: Requisitos *Passive House* para a energia primária renovável (Fonte: [15])

Energia primária renovável (PER) ⁶	<i>Classic</i>	<i>Plus</i>	<i>Premium</i>
Consumo $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \leq$	60	45	30
Produção $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \geq$	-	60	120

2.6 Princípios *Passive House*

A norma *Passive House* apresenta cinco princípios fundamentais para uma conceção inteligente de edifícios, que asseguram conforto térmico e uma excelente qualidade do ar interior [39]:

- Adequados níveis de isolamento da envolvente do edifício;
- Adoção de janelas de elevada eficiência;
- Eliminação de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Estanquidade do ar da envolvente do edifício;
- Sistema de ventilação com recuperação de calor;

2.6.1 Isolamento térmico do edifício

O isolamento térmico é assegurado pela envolvente do edifício, que consiste em todos os elementos do edifício que separam o ambiente interior do exterior (Figura 2.4). O principal objetivo é proporcionar um ambiente interior confortável, independentemente da temperatura exterior.

Na maioria dos edifícios convencionais, verificam-se perdas de calor através das paredes exteriores, coberturas e pavimentos. Durante o inverno, a temperatura no interior do edifício é normalmente mais elevada do que a do exterior. Como consequência, o calor tende a dissipar-se através da envolvente do edifício. O inverso aplica-se aos meses de verão, onde a transferência de calor ocorre do exterior para o interior do edifício, durante o período mais quente do dia. Neste caso, é importante assegurar o elevado conforto térmico através de um sistema de sombreamento e um sistema de ventilação eficiente. Deste modo, reduzem-se os fluxos de calor através da envolvente do edifício diminuindo, assim, o consumo energético pelos sistemas de aquecimento/arrefecimento convencionais. É a forma mais eficaz de poupar energia e ao, mesmo tempo, garantir conforto térmico e a prevenir danos estruturais, como a humidade [40].

⁶ Inclui a energia para aquecimento, arrefecimento, desumidificação, AQS, iluminação, equipamentos elétricos e outros [15].

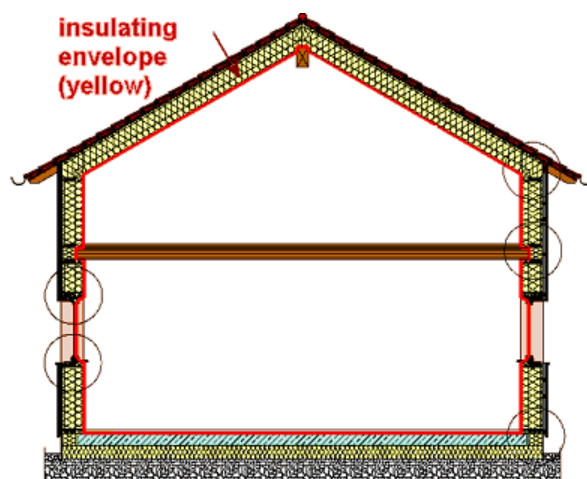


Figura 2.4: Representação da camada de isolamento térmico numa *Passive House* (Fonte: [41])

As perdas de calor através dos elementos da envolvente são definidas pelo coeficiente de transmissão térmica U , que indica quantidade de calor dissipada através de uma determinada área de superfície de um elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura, expresso em $W/(m^2.K)$ [42]. O coeficiente obtém-se pelo inverso da resistência térmica total unitária (R''_{tot}), expressa em $(m^2.K)/W$. Esta inclui o somatório das resistências térmicas superficiais unitárias interiores (R''_{si}) e exteriores (R''_{se}), que correspondem ao efeito combinado da transferência de calor por convecção e radiação, que ocorre entre o elemento opaco e o meio ambiente, e a resistência térmica unitária da camada (homogénea ou não homogénea) constituinte do elemento (R''_j), que corresponde à transferência de calor por condução através do elemento [43]. Esta última depende da espessura da camada de um material (d) e da sua condutibilidade térmica (λ)⁷. Quanto menor for o valor U de um elemento, menor será a transferência de calor através deste e maior será o seu nível de isolamento térmico [42]. Isto é possível através de materiais termicamente isolantes, ou seja, materiais que apresentam maior resistência à transferência de calor. Tipicamente apresentam uma condutibilidade térmica inferior a $0.065 W/(m.K)$ e uma resistência térmica unitária superior a $0.030 (m^2.K)/W$ [44].

Os componentes opacos certificados pela *Passive House* devem cumprir com valores de referência, que variam em função da zona climática em que o edifício se localiza (Figura 2.5) [45]. Em alternativa ao método do balanço energético, os edifícios reabilitados e certificados pela norma *EnerPHit* devem cumprir com os limites máximos estipulados na Tabela 2.7. No geral, a norma *Passive House* utiliza como referência os mesmo valores para a certificação dos seus componentes.

⁷ A condutibilidade térmica é uma propriedade que caracteriza os materiais termicamente homogéneos e que representa a quantidade de calor [W] que atravessa uma espessura unitária [m] de um material, por unidade de diferença de temperatura entre duas faces planas e paralelas [K] [44].

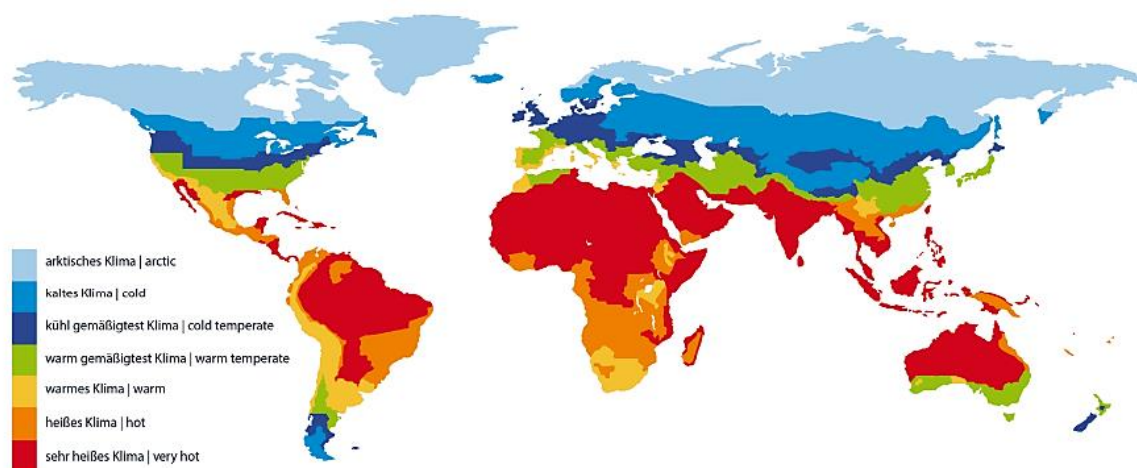


Figura 2.5: Categorias definidas pela *Passive House* para diferentes zonas climáticas do mundo (Fonte: [45])

Consoante as diferentes zonas climáticas, a norma *Passive House* tem como referência os valores para o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca exterior, indicados na Tabela 2.7. Para Portugal, cuja zona climática corresponde à amena, o valor de referência para o coeficiente U_{ext} deve ser $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [45].

Tabela 2.7: Coeficiente de transmissão térmica máximo de elementos da envolvente opaca exterior para cada zona climática (Fonte: [45])

Zona climática	$U_{ext}^8 \left[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$
Ártico	0,09
Frio	0,12
Frio, temperado	0,15
Ameno, temperado	0,25
Ameno	0,50
Quente	0,50
Muito quente	0,25

2.6.2 Janelas de elevada eficiência energética

As janelas são elementos essenciais para assegurar condições de conforto interior agradáveis. Nos meses de inverno, a quantidade de calor que entra no edifício é fundamental para o aquecimento, porém, a sua permanência no interior depende muito da qualidade das janelas. A sua localização é um fator fundamental para maximizar os ganhos solares, particularmente no inverno. Na situação em que a habitação se encontre no hemisfério norte, os vãos envidraçados devem estar orientados a sul para maximizar os ganhos solares no inverno. No verão, o sol encontra-se numa posição mais elevada, limitando desta forma os ganhos solares no interior do edifício. No entanto, é importante utilizar dispositivos de proteção solar para prevenir qualquer situação de sobreaquecimento.

⁸ A determinação do parâmetro U_{ext} ($U_{opaque} * f_{R,PHI}$) depende do fator de redução, $f_{R,PHI}$, que, de acordo com a nomenclatura portuguesa, representa o coeficiente de redução de perdas, b_{ztu} . Toma o valor de 1, salvo algumas exceções (por exemplo, áreas em contacto com o solo nas zonas climáticas ártico a ameno-temperado, que iguala o valor 0,6) [45].

As janelas *Passive House* são concebidas de modo a minimizar as perdas de calor e permitir uma utilização otimizada da energia solar passiva [46]. Os ganhos térmicos dos edifícios pelas janelas dependem de dois parâmetros: o fator solar (g) e o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado instalado ($U_{w,instalado}$) [47].

O fator solar representa o valor da relação entre a energia solar transferida para o interior de um espaço sob a forma de calor, através do vão envidraçado, e a radiação solar nele incidente [48]. O fator solar ideal é aquele que é suficientemente elevado para permitir que a radiação solar incidente aqueça de forma confortável o espaço interior no inverno, mas que seja suficientemente baixo para evitar o sobreaquecimento no verão. Se o seu valor for igual a um, então os ganhos solares correspondem a 100%. Por outro lado, se os envidraçados possuem um valor inferior a 0,50 (50%), são denominados de envidraçados de "controlo solar", uma vez que se destinam a situações com radiação solar elevada que precisa de ser controlada para evitar problemas de sobreaquecimento. Para climas frios, existem soluções até 0,64 para janelas de alto desempenho [49]. Na Europa central, são tipicamente utilizados envidraçados com um fator solar de aproximadamente 0,50 (50%) [50].

O coeficiente $U_{w,instalado}$, expresso em $W/(m^2.K)$, representa a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que os vãos envidraçados separam. É determinado de acordo com as normas EN ISO 10077-1:2017 (*Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General*) e EN ISO 10077-2:2017 (*Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method frames*) [51], [52].

Depende dos coeficientes de transmissão térmica da área transparente (U_g) e do caixilho (U_f), e dos coeficientes de transmissão térmica linear do espaçador ou perfil intercalar (Ψ_g) e ainda da ligação dos componentes de construção adjacentes ($\Psi_{instalação}$) [53], expresso em $W/(m.K)$ (ver Figura 2.6). Quanto menores forem estes parâmetros, menor será a quantidade de calor que atravessa a janela por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura, aumentando o desempenho térmico da janela [50].

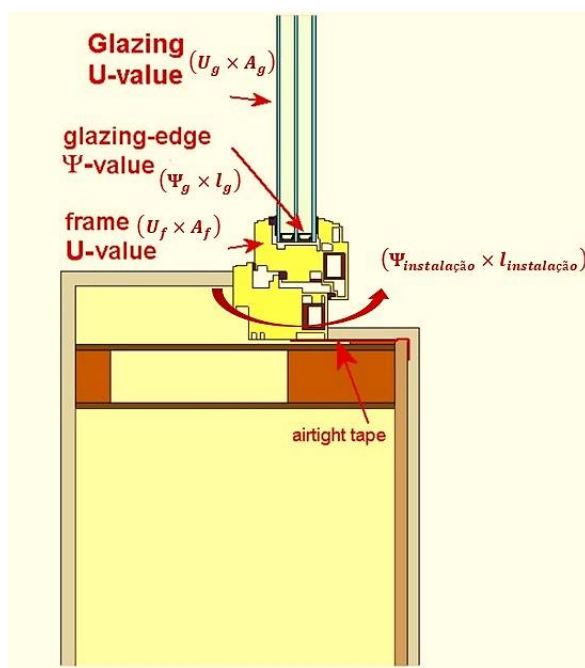


Figura 2.6: Parâmetros térmicos necessários ao cálculo de $U_{w,instalado}$ numa janela *Passive House* (Fonte: Adaptado de [50])

Na Tabela 2.8, estão definidos os valores de referência para o coeficiente de transmissão térmica máximo do vão envidraçado instalado, $U_{W,instalado}$, conforme a zona climática e orientação do elemento [54]. Para Portugal, deve ser considerado o valor correspondente para a zona climática amena.

Tabela 2.8: Critérios *Passive House* para o coeficiente de transmissão térmica máximo do vão envidraçado instalado (Fonte: [54])

Zona climática	$U_{W,instalado} [W/(m^2 \cdot K)]$		
	Orientação		
	Vertical (90°)	Inclinado (45°)	Horizontal (0°)
Ártico	0,45	0,50	0,60
Frio	0,65	0,70	0,80
Frio, temperado	0,85	1,00	1,10
Ameno, temperado	1,05	1,10	1,20
Ameno	1,25	1,30	1,40
Quente		1,25	
Muito quente		1,05	

Para além das perdas de calor representadas pelo coeficiente U_W , também são importantes os ganhos solares através das janelas. A orientação e o sombreamento das janelas, o fator solar e a proporção do caixilho também influenciam os ganhos solares. Tendo em conta que não existem ganhos solares através dos caixilhos opacos, é necessário minimizar as proporções do caixilho, aumentando deste modo a área transparente e maximizando os ganhos solares.

As janelas *Passive House* são constituídas tipicamente por vidros duplos ou triplos de baixa emissividade, preenchidos com gás krípton ou argon, e por caixilhos com elevado nível de isolamento térmico. A escolha do gás nobre deve-se ao facto da condutibilidade térmica ser mais baixa do que o ar. Deste modo, a conjugação destes fatores permite a redução das perdas de calor e o aumento do conforto térmico [55].

Os vidros de baixa emissividade ou *low-e* são vidros de elevado desempenho energético revestidos por uma capa fina e transparente composta por materiais de origem metálica que permite minimizar a quantidade de radiação infravermelha (IF) e ultravioleta (UV) que atravessa a superfície, responsáveis pelo aquecimento interior, sem comprometer a quantidade de luz visível que é transmitida. No geral, materiais com elevada refletividade possuem baixa emissividade. Isto permite ainda que, durante os períodos frios, ocorra uma minimização das perdas térmicas do interior para o exterior uma vez que reflete esse calor de novo para o interior de modo a manter a temperatura ambiente [56].

Outro aspeto a ter em conta é a sua instalação na envolvente do edifício. A instalação incorreta favorece a ocorrência de pontes térmicas. Assim, para minimizar os seus efeitos, as janelas devem ser colocadas no interior da camada de isolamento. Isto inclui geralmente a extensão do isolamento de modo a sobrepor as ligações entre a parede e o caixilho da janela. Na posição ótima de instalação, a ponte térmica linear devido à instalação ($\Psi_{instalação}$) deverá ser entre 0,01 e 0,017 W/(m.K). Em climas frios, ajuda a evitar perdas de calor e a elevar as temperaturas da superfície interna nestas junções. Em climas quentes, a sobreposição ajuda a manter o edifício fresco, reduzindo as temperaturas da superfície interna [46].

2.6.3 Minimização de pontes térmicas

Para que o edifício seja termicamente isolado é necessário ter em atenção o efeito das pontes térmicas. As pontes térmicas são locais do edifício onde ocorre uma descontinuidade no elemento construtivo, provocando uma variação no fluxo de calor e uma mudança de temperatura na superfície interior. Geralmente, ocorrem quando existe uma quebra na camada de isolamento ou quando esta é perfurada por elementos com maior condutibilidade térmica [57]. Em consequência, a temperatura da superfície interior perto da ponte térmica é mais baixa. Se este ponto se tornar demasiado frio, poderá levar à condensação e acumulação de humidade. Com o tempo, pode formar-se bolor, danificando potencialmente a estrutura do edifício [58]. A regra principal a adotar para a resolução deste problema é a aplicação contínua da camada de isolamento térmico (linha amarela, Figura 2.7) e da camada estanque (linha vermelha, Figura 2.7), com especial atenção nos cantos e ligações. Deste modo, as perdas de calor através das pontes térmicas são significativamente mais baixas, sendo uma das medidas mais eficientes de poupança energética [46].

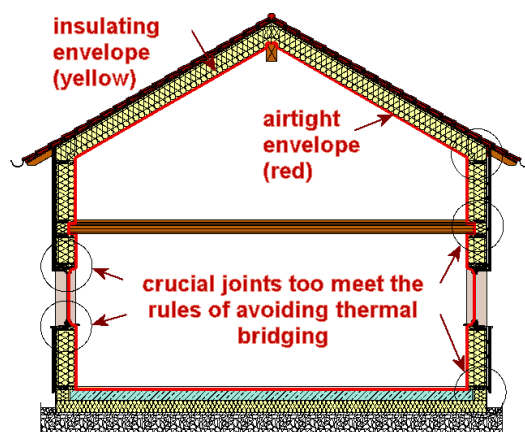


Figura 2.7: Representação das camadas de isolamento térmico e estanque, e ligações cruciais entre elementos (Fonte: [59])

As pontes térmicas diferenciam-se consoante a sua localização. Podem ser pontes térmicas lineares, planas ou pontuais [53] [60]:

- As pontes térmicas lineares (PTL) estão situadas em junções de dois ou mais elementos construtivos e são caracterizadas pelo coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), expresso em $W/(m.K)$.
- As pontes térmicas planas (PTP) são as heterogeneidades inseridas na zona corrente da envolvente, nomeadamente, vigas, pilares, caleiras ou caixas de estore, e são caracterizadas pelo coeficiente de transmissão térmica (U), expresso em $W/(m^2.K)$.
- As pontes térmicas pontuais existem em perfurações na envolvente opaca por elementos de elevada condutibilidade térmica, como por exemplo, para passagem de condutas ou cabos, sendo caracterizadas pelo coeficiente de transmissão térmica pontual (χ), expresso em W/K .

Na maioria dos casos, as avaliações são limitadas às pontes térmicas lineares e planas, que são as mais comuns. A identificação visual de uma ponte térmica é feita a partir de um termógrafo, que mede a temperatura superficial dos elementos construtivos.

Os procedimentos para o cálculo das pontes térmicas são definidos pela norma ISO 10211, na qual inclui metodologias de cálculo para os fluxos de calor, a fim de avaliar as perdas de calor globais do edifício ou parte deste, e de temperaturas mínimas de superfície, de modo a avaliar o risco de condensação

Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projeto no âmbito da revisão do regulamento do desempenho energético de edifícios

superficial [61]. De acordo com critérios simplificados, se $\psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, então obtém-se uma conceção sem pontes térmicas, que representa um dos princípios da *Passive House* [59].

2.6.4 Estanquidade ao ar

Para além de um bom isolamento térmico, é importante, também, considerar-se uma construção hermética, uma vez que esta minimiza ainda mais as perdas de calor e evita problemas de humidade [62].

O vento, o sistema de aquecimento e a ventilação mecânica criam diferenças de pressão entre o ambiente interior e exterior, permitindo fugas ou infiltrações de ar não controladas através de fissuras e orifícios que, por sua vez, causam perdas de calor e correntes desagradáveis. Para além disso, a condensação do ar húmido provocada pelas fugas ou infiltrações pode originar danos na habitação, comprometendo o desempenho dos materiais de construção [62]. Assim, a construção estanque poderá reter o ar quente no interior do edifício e manter o ar frio no exterior, garantindo um elevado nível de conforto na habitação. Por consequência, as necessidades energéticas de aquecimento são consideravelmente mais baixas [63].

O conceito básico a aplicar para uma envolvente estanque ao ar consiste na implementação de uma camada contínua e ininterrupta (Figura 2.8), constituída por um material estanque, encerrando todo o volume do edifício, sem quaisquer quebras [64].

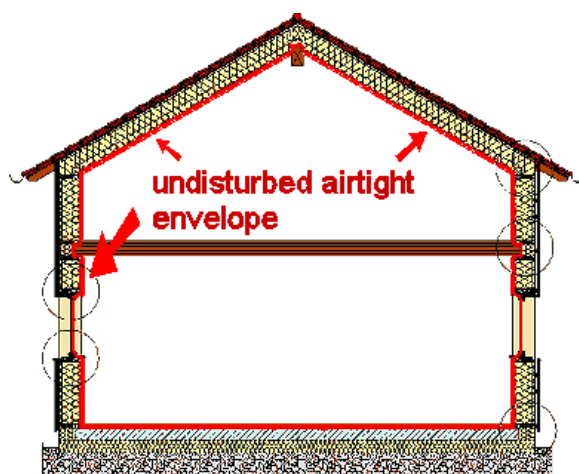


Figura 2.8: Representação da camada estanque ininterrupta numa *Passive House* (Fonte: [65])

A medição da estanqueidade ao ar da envolvente é feita através de testes de pressurização e de despressurização, de acordo com a Norma EN 13829 (*Blower Door Test*), após a conclusão da obra. Após o fecho de portas e janelas, o ventilador cria uma diferença de pressão de 50 Pa entre o interior e o exterior do edifício e, em seguida, é determinado o caudal de ar necessário para manter esta diferença. A razão entre o caudal de ar que atravessa a envolvente à pressão de 50 Pa, em m^3/s e o volume do compartimento, em m^3 , corresponde à taxa de renovação de ar por hora e à pressão de 50 Pa, $n_{50} [\text{h}^{-1}]$ [63], [66]. O valor n_{50} máximo definido pelo PHI é de $0,6 \text{ h}^{-1}$ para o critério *Passive House Standard* e de 1 h^{-1} para os critérios *EnerPHit Standard* e *PHI Low Energy Building Standard* [15] [67].

2.6.5 Sistema de ventilação com recuperação de calor

O conforto térmico e a qualidade do ar no interior da habitação representam os aspetos principais de planeamento a garantir pela norma *Passive House*. Estes são alcançados através de ventilação controlada, seja mecânica ou natural, que inclui benefícios, nomeadamente na saúde dos ocupantes, como a remoção dos poluentes (dióxido de carbono, fungos e de odores) e no conforto, permitindo uma temperatura ambiente adequada e a prevenção de danos, como a humidade.

O sistema de ventilação com recuperação de calor permite simultaneamente a extração contínua do ar interior das zonas com elevado nível de poluição e humidade (*extract air*), como a cozinha e casa de banho, e o fornecimento de ar novo para os espaços com maior ocupação (*supply air*), como quartos e sala de estar (Figura 2.9). Isto permite, também, que os corredores sejam automaticamente ventilados. A recuperação do calor é feita através de um permutador de calor, onde este retira o calor do ar extraído do interior. Este, por sua vez, arrefece e sai para o exterior como ar de exaustão (*exhaust air*). O ar novo exterior (*fresh air*) incorpora esse calor e é fornecido para o interior da habitação [68]. O sistema permite que seja utilizado nos períodos de arrefecimento, através da opção arrefecimento *bypass* (inversão da direção do fluxo de calor) noturno. Isto ajuda a reduzir drasticamente os requisitos de aquecimento e arrefecimento do espaço, proporcionando, ao mesmo tempo, elevados níveis de conforto [69]. Atualmente, estes sistemas de ventilação mais modernos permitem a recuperação de calor com uma eficiência entre 75 e 95% [68].

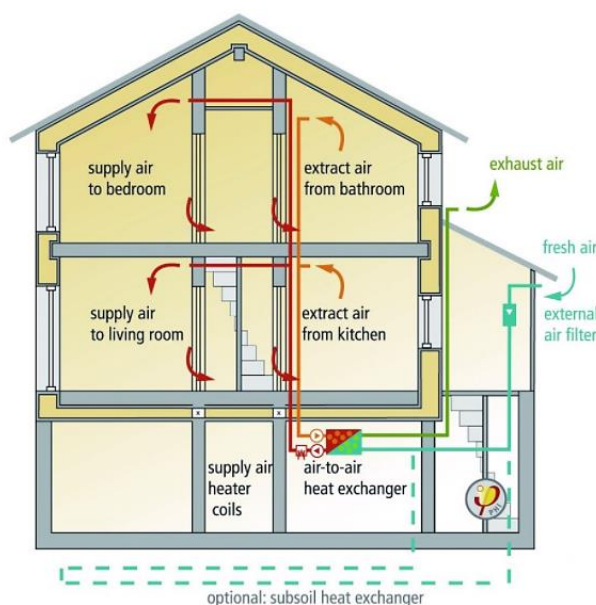


Figura 2.9: Funcionamento de um sistema de ventilação com recuperação de calor numa *Passive House* (Fonte: [69])

O nível de humidade relativa do ar nos espaços internos depende substancialmente de parâmetros, nomeadamente, a intensidade das fontes de humidade interna, como, por exemplo, plantas, a confeção de alimentos e secagem de roupa, e a quantidade de ar fresco fornecido do exterior [70]. De acordo com a Norma ISO 7730 para o conforto térmico, o intervalo ótimo definido de humidade relativa é de 30 a 60% [71]. No entanto, se esta quantidade de ar for excessiva, o ar interior tende a tornar-se demasiado seco, atingindo níveis de humidade relativa inferiores a 30%. Como regra geral, o sistema de ventilação

deve ser concebido de modo a fornecer um caudal horário de ar novo de 20 a 30 m³/h por pessoa, com uma taxa de renovação de ar⁹ mínima para todo o edifício de 0,3 h⁻¹ [46].

2.6.6 Requisitos gerais mínimos

Para além de um elevado nível de eficiência energética, os edifícios certificados como *Passive House Standard* e *EnerPHit Standard* oferecem condições ótimas de conforto térmico, bem como a proteção contra danos causados pela humidade. A fim de garantir isto, devem ser cumpridos os critérios mínimos mencionados abaixo, para além dos que foram mencionados anteriormente [15].

❖ Frequência de sobreaquecimento

A frequência de sobreaquecimento descreve a percentagem de horas num ano em que a temperatura média interior excede os 25°C em edifícios que não são ativamente arrefecidos. Para os padrões energéticos dos edifícios *Passive House*, isto não pode ser superior a 10%. Recomendam-se valores inferiores a 5% [15], [17].

❖ Frequência de humidade excessivamente elevada

A frequência de humidade excessivamente elevada representa o número de horas do ano em que a humidade absoluta (quantidade de vapor de água no ar, independentemente da temperatura) do ar interior é superior a 12 g (vapor)/kg (ar seco). Em edifícios *Passive House* que não são ativamente arrefecidos, não pode ser superior a 20%. Na existência de sistema ativo de arrefecimento, não pode ser superior a 10% [15], [17].

❖ Conforto térmico

O conforto térmico é uma perceção subjetiva do corpo e baseia-se no facto de uma pessoa se sentir ou não confortável no ambiente que a rodeia. A temperatura do ar interior, a temperatura da superfície dos componentes do edifício e a velocidade do ar são fatores que influenciam essa perceção. A temperatura interior do edifício *Passive House* deverá estar compreendida entre os 20°C e os 25°C [72]. Para limitar o risco de correntes de ar desagradáveis, a velocidade do ar na área de habitação deve ser inferior a 0,1m/s, permitindo também restringir a permeabilidade ao ar através da envolvente do edifício [54].

A diferença de temperatura entre a temperatura mínima da superfície interior, θ_{si} , (paredes, coberturas, janelas, etc.) e a temperatura média do ar interior ou operativa, θ_{op} , deve ser inferior a 4,2 K. Caso contrário, pode originar uma descida da temperatura ambiente e a redução dos ganhos solares [54].

$$|\theta_{si} - \theta_{op}| \leq 4.2K \quad (2.1)$$

⁹ A taxa de renovação de ar corresponde à frequência com que o volume de ar no interior do edifício é substituído por ar fresco do exterior numa hora.

❖ Proteção contra a humidade

Para caracterizar os efeitos das pontes térmicas no edifício é necessário determinar o fator de temperatura, f_{Rsi} , de acordo com a Norma ISO 10211. É um parâmetro adimensional que representa a razão entre a diferença entre a temperatura mínima da superfície interior, θ_{si} , de um componente e a temperatura do ar exterior θ_e , e a diferença de temperaturas entre o ar interior θ_i e o ar exterior (Equação 2.2). Pode ser utilizado como indicador do risco de formação de bolor e condensação. Quanto mais elevado for o seu valor, maior será a temperatura da superfície interior e menor será o risco de mofo ou condensação. No entanto, o fator varia consoante com a zona climática em que se localiza o edifício, como apresentado na Tabela 2.9. Para Portugal, aplica-se um valor mínimo de 0,55 [15], [17], [54].

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (2.2)$$

Tabela 2.9: Fator de temperatura mínimo para as diferentes zonas climáticas (Fonte: [15])

Zona climática	$f_{Rsi_{mínimo}}$
Ártico	0,80
Frio	0,75
Frio, temperado	0,70
Ameno, temperado	0,65
Ameno	0,55
Quente	-
Muito quente	-

2.7 Desempenho energético dos edifícios

O nível de desempenho energético de um edifício é determinado com base em dois balanços de energia primária aplicados ao edifício em estudo e ao edifício de referência. A relação entre estes dois balanços permite determinar a classe de eficiência energética a que o edifício pertence. A metodologia de cálculo dos balanços energéticos para os edifícios residenciais e não residenciais encontra-se detalhada no Manual SCE, aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho [53]. De acordo com a nova regulamentação, os edifícios novos ou sujeitos a renovações devem obedecer a um conjunto de requisitos de desempenho energético relativos à envolvente do edifício e sistemas técnicos e, ainda, requisitos de conforto térmico e de desempenho energético, conforme previsto no novo Decreto-Lei n.º101-D/2020. O presente estudo focar-se-á apenas em edifícios de habitação, excluindo os edifícios de comércio e serviços.

2.7.1 Enquadramento legislativo

A Comissão Europeia tem vindo a promover um conjunto de medidas a aplicar pelos Estados-Membros com o intuito de impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto do parque edificado, através da revisão e publicação da Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (DEE) (*Energy Performance of Buildings Directive – EPBD*) [73].

A primeira diretiva EPBD, a Diretiva n.º 2002/91/CE [74] do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, teve como principais objetivos estabelecer uma metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios, bem como a aplicação de requisitos mínimos para a conceção de edifícios e para edifícios existentes sujeitos a importantes obras de renovação, e, ainda, a implementação da certificação energética dos edifícios.

A transposição para a ordem jurídica nacional, em 2006, resultou na publicação do Decreto-Lei n.º 78/2006 [75], de 4 de abril, onde foi aprovado o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) e teve como principal objetivo informar o cidadão sobre o desempenho energético do edifício pela atribuição de uma classe energética, através do Certificado Energético (CE). O SCE permitiu, ainda, a aplicação de requisitos mínimos no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, contidos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado no Decreto-lei n.º 79/2006, de 4 de abril, e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE), aprovado pelo Decreto-lei n.º 80/2006, de 4 de abril.

Posteriormente, como resultado da revisão da diretiva anterior, foi publicada a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio [6]. Esta surge para reforçar as exigências mínimas para os edifícios, mantendo uma metodologia comum a nível europeu para o cálculo do desempenho energético e a certificação energética dos edifícios. Aqui surge o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), tendo como objetivo “o mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os novos edifícios tenham desempenhos energéticos muito elevados”, sendo que as suas necessidades de energia quase nulas deverão ser cobertas por fontes de energias renováveis. Esse prazo é antecipado em dois anos para os novos edifícios públicos.

O Decreto-Lei n.º118/2013 [76], de 2 de agosto, surgiu então pela transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU para a ordem jurídica nacional, permitindo a aprovação do Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), tornando-

se deste modo mais clara a separação do âmbito de aplicação do SCE aos edifícios de habitação e aos edifícios de comércio e serviços.

Em 2018, surge a última revisão da EPBD, a Diretiva n.º 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio [5], tendo como principal objetivo incentivar os Estados Membros a estabelecer estratégias de longo prazo para apoiar a renovação do parque edificado até 2050, e, deste modo, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa da União Europeia entre 80 e 95% relativamente aos níveis de 1990. Para isso, deve ser estabelecido um roteiro com metas e ações nacionais para alcançar os objetivos de eficiência energética a curto (2030), médio (2040) e longo prazo (2050). No âmbito nacional, foi divulgado, em 2020, o Plano Nacional Energia e Clima (PNEC 2030) [8], no qual inclui as principais linhas de ação entre 2021 e 2030. Este plano é articulado com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) [9], publicado em 2019, com estratégias de longo prazo para a descarbonização de todos os setores da economia, promovendo melhorias ao nível da eficiência e inovação.

Na sequência da diretiva anterior, encontra-se em vigor o Decreto-Lei n.º101-D/2020 [12], de 7 de dezembro, no qual regula o SCE e revoga os anteriores REH e RECS. As alterações são feitas ao nível dos requisitos térmicos e energéticos, em vigor na Portaria n.º138-I/2021 e no Despacho n.º 6476-E/2021, e também ao nível da metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios, conforme consta no manual técnico para a avaliação do DEE (Manual SCE), aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho.

2.7.2 Requisitos de desempenho energético dos edifícios de habitação

De acordo com os artigos 6.º, 7.º e 8.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, os edifícios novos¹⁰ e edifícios sujeitos a renovações¹¹ ou grandes renovações¹², estão sujeitos ao cumprimento de requisitos mínimos ou de referência de desempenho energético relativos à envolvente do edifício com o objetivo de minimizar a ocorrência de patologias e limitar as necessidades de energia, garantindo condições interiores de conforto. Inclui ainda requisitos relacionados com os sistemas técnicos, nomeadamente, de desempenho energético e de dimensionamento adequado, de modo a garantir que o sistema é adequado às necessidades e características do edifício [12]. Os requisitos são regulamentados pela Portaria n.º 138-I/2021 [48], ao abrigo do disposto n.º 12 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

Estes requisitos também se encontram de acordo com os propostos no Manual SCE para o cálculo do balanço de energia primária do edifício de habitação de referência, com exceção dos valores adotados para a região autónoma dos Açores [53], como indicado na Tabela B.1 do Anexo B.

¹⁰ Edifício novo é o “edifício cujo primeiro processo de licenciamento ou autorização de edificação tenha data de entrada do projeto de arquitetura junto das entidades competentes posterior à data de entrada em vigor do presente decreto-lei ou, no caso de isenção de controlo prévio, cujo primeiro projeto de arquitetura tenha data de elaboração posterior à data de entrada em vigor do presente decreto-lei” [12].

¹¹ Edifício renovado é o “edifício existente que foi sujeito a obra de construção, reconstrução, alteração, ampliação, instalação ou modificação de um ou mais componentes” [12].

¹² Grande renovação representa “a renovação em edifício em que se verifique que a estimativa do custo total da obra, compreendendo a totalidade das frações renovadas, nos casos aplicáveis, relacionada com os componentes, seja superior a 25 % do valor da totalidade do edifício [...]” [12].

❖ Envolvente opaca

Os coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos, U_{max} , dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação, novos ou renovados, estão indicados nas Tabelas 2.10 e 2.11. Os valores são definidos consoante o zonamento climático do país, sendo neste caso, relativo à zona climática de inverno¹³ (I1, I2 e I3), que se classifica do menos severo aos mais severo durante o inverno.

Tabela 2.10: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação para Portugal Continental e Região Autónoma da Madeira (Fonte: [48])

U_{max} [W/(m ² .K)] ¹⁴			Zona Climática Portugal Continental e Região Autónoma da Madeira		
Tipo de elemento	Condição fronteira ¹⁵		I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais ¹⁶	Exterior ou interior com b_{ztu} ¹⁷ > 0,7	0,50	0,40	0,35
	Horizontais	Exterior ou interior com b_{ztu} > 0,7	0,40	0,35	0,30
Zona de PTP	Verticais	Exterior		0,90	
	Horizontais	Exterior		0,90	

Tabela 2.11: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de habitação para a Região Autónoma dos Açores (Fonte: [48])

U_{max} [W/(m ² .K)]			Zona Climática Região Autónoma dos Açores		
Tipo de elemento	Condição fronteira		I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente e PTP	Verticais	Exterior ou interior com b_{ztu} > 0,7	1,75	1,60	1,45
	Horizontais	Exterior ou interior com b_{ztu} > 0,7	1,25	1,00	0,90

¹³ A zona climática de inverno (I1, I2, I3) é definida a partir do número de graus-dias (GD) na estação de aquecimento, na base de 18°C, considerando a nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos de nível III (NUTS III) [53].

¹⁴ A unidade de medida definida para o coeficiente global de transmissão de calor U é W/(m².°C). No entanto, sendo que a diferença de temperatura de 1°C é a mesma que 1 K, ou seja, $\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(\text{K})$, assume-se a unidade do Sistema Internacional, em W/(m².K).

¹⁵ Condição aplicável a um elemento construtivo da envolvente que define a forma como a transferência de calor se processa, nomeadamente exterior, interior, solo e sem trocas térmicas [53].

¹⁶ Os elementos da envolvente que apresentem uma inclinação igual ou superior a 60°, por exemplo, paredes [53].

¹⁷ Coeficiente de redução de perdas, b_{ztu} : o valor característico que representa a transferência de calor por um elemento construtivo com condição fronteira interior [53].

❖ Envolvente envidraçada

Os coeficientes de transmissão térmica máximos dos vãos envidraçados, $U_{W,max}$, dos edifícios de habitação, novos ou renovados, estão indicados na Tabela 2.12.

Tabela 2.12: Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos vãos envidraçados, não considerando os dispositivos de proteção solar (Fonte: [48])

$U_{W,max}^{18}$ [W/(m ² .K)]	Zona Climática								
	Portugal Continental			Região Autónoma da Madeira			Região Autónoma dos Açores		
Tipo de edifício	I1	I2	I3	I1	I2	I3	I1	I2	I3
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20	2,80	2,40	2,20	2,90	2,60	2,40

Na situação em que a área total dos vãos envidraçados ($A_{env,espaço}$) seja de 5% a 15% da área interior útil de pavimento do edifício (A_{pav}), em m², os vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares em espaços interiores úteis devem verificar a seguinte condição:

$$g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{tot,máx} \quad (2.3)$$

Onde:

- g_{tot} é o fator solar dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção totalmente ativados;
- F_o é o fator de sombreamento por elementos opacos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, nomeadamente, palas, varandas, outros corpos ou partes de um edifício;
- F_f é o fator de sombreamento por elementos opacos verticais adjacentes ao envidraçado, nomeadamente, palas, outros corpos ou partes de um edifício;
- $g_{tot,máx}$ é o fator solar máximo admissível dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares, obtido pela Tabela 2.13. Neste caso, considera-se a zona climática de verão¹⁹ (V1, V2 e V3), que se classifica do menos severo aos mais severo durante o verão.

No caso em que $A_{env,espaço}$ seja igual ou inferior a 5% da A_{pav} , os vãos envidraçados inseridos em espaços interiores úteis encontram-se isentos do cumprimento dos requisitos previstos na condição expressa na Equação (2.3). Por outro lado, se for superior a 15% os vãos envidraçados devem verificar a seguinte condição:

$$g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{tot,máx} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env,espaço}}{A_{pav}}\right)} \quad (2.4)$$

¹⁸ Os valores $U_{W,max}$ apresentados não consideram os dispositivos de proteção solar. Caso sejam considerados nos edifícios de habitação, o cumprimento dos requisitos pode ser avaliado tendo em conta o valor do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite, $U_{W,DN}$ (valor médio entre o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando os dispositivos de proteção solar, $U_{W,s}$, e o que considera a ativação desses dispositivos, $U_{W,S}$) [53].

¹⁹ Zona climática de verão (V1, V2 e V3), definida a partir da temperatura média exterior da estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), considerando a nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos de nível III (NUTS III) [53].

Tabela 2.13: Fatores solares máximos admissíveis dos vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares (Fonte: [48])

$g_{tot,max}$	Inércia do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de habitação	Fraca	0,15	0,10	0,10
	Média ou forte	0,56	0,56	0,50

A inércia térmica do espaço representa a capacidade de armazenamento de calor que os elementos construtivos apresentam e varia em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento, I_t , expresso em kg/m^2 . Divide-se em três classes: Fraca, Média e Forte. Considera-se um espaço com inércia fraca quando se verificam, cumulativamente, as condições da Tabela 2.14. Caso contrário, considera-se um espaço com inércia média ou forte.

Tabela 2.14: Condições de verificação para um espaço com inércia fraca (Fonte: [48])

Condição	
Cobertura com isolamento pelo interior ou em esteira leve ou com elemento de revestimento com eventual caixa de ar associada	Resistência térmica $\geq 0,14 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$
Pavimento com isolamento pelo interior ou com revestimento de piso do tipo flutuante ou de madeira ou com elemento de revestimento com eventual caixa de ar associada	
Paredes com isolamento pelo interior ou de construção leve ou em tabique ou com elementos de revestimento com eventual caixa de ar associada	

❖ Sistemas de ventilação

A ventilação nos edifícios de ser feita preferencialmente de forma natural, sendo complementada com sistema de ventilação mecânico quando necessário, de modo a assegurar uma adequada renovação do ar interior por razões de higiene e conforto dos ocupantes. A ventilação natural deve ter meios para limitar a renovação excessiva de ar bem como a distribuição adequada das aberturas nos espaços, promovendo desta forma a renovação do ar em todas as zonas da fração. A localização do sistema de ventilação mecânica deve obedecer a distâncias mínimas relativas aos locais de emissões poluentes para ter condições adequadas de captação de ar novo, como indicado na Tabela 2.15.

Os edifícios de habitação novos, sujeitos a grande renovação, ou cujo sistema de ventilação foi renovado, devem garantir uma taxa de renovação horária de ar, R_{ph} , igual ou superior a $0,50 \text{ h}^{-1}$, calculado de acordo com a metodologia prevista no Manual SCE e segundo a Norma EN 16798-1.

Tabela 2.15: Distâncias mínimas a respeitar entre admissões/entrada de ar e os diferentes locais de emissões de poluentes (Fonte: [48])

Local	Valor mínimo [m]
Pavimento (superfície abaixo da admissão de ar, telhado inclinado, entre outros)	0,3
Solo	2
Grelha de extração e exaustão de ar interior; entradas de garagens; Respiradouros de colunas da rede de esgotos, chaminés e exaustões de equipamentos de combustão	5
Exaustões de torres de arrefecimento	7,5
Exaustões tóxicas ou perigosas	10

❖ Exceções

Se os edifícios de habitação cumprirem com os requisitos relativos ao conforto térmico, calculados através de um balanço energético, e conforme previstos no Despacho n.º 6476-E/2021 (Tabela 2.16), encontram-se isentos do cumprimento dos requisitos relativos aos coeficientes de transmissão térmica superficiais nas Tabelas 2.10, 2.11 e 2.12. No entanto, também devem obedecer aos seguintes limites máximos:

- Coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos da envolvente corrente opaca: $U \leq 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ou $U \leq 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, no caso soluções construtivas em taipa ou similares.
- Coeficiente de transmissão térmica superficial dos elementos da envolvente envidraçada exterior: $U \leq 3,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

No âmbito do conforto térmico e do desempenho energético, são impostos requisitos que promovem a modernização e renovação no âmbito do conforto ambiente e o comportamento térmico adequado dos edifícios, cuja aprovação é feita no Despacho n.º 6476-E/2021, de 1 de julho [77]. Os edifícios de habitação novos e sujeitos a grande renovação devem verificar os requisitos presentes na Tabela 2.16 e Tabela 2.17, respetivamente. Para que um edifício seja considerado como edifício com necessidades quase nulas de energia (nZEB) deve verificar os requisitos da Tabela 2.16.

Tabela 2.16: Requisitos de conforto térmico e desempenho energético para edifícios de habitação novos (Fonte: [77])

Tipo de requisito	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,85$	$N_{ic}/N_i \leq 0,90$
Necessidades de arrefecimento	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$		
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a A		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 0,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$		

Tabela 2.17: Requisitos de conforto térmico e desempenho energético para edifícios de habitação sujeitos a grande renovação (Fonte: [77])

Tipo de requisito	Ano de construção (A)		
	A < 1960	1960 ≤ A ≤ 1990	A > 1990
Conforto térmico			
Necessidades de aquecimento	Não aplicável	$N_{ic}/N_i \leq 1,25$	$N_{ic}/N_i \leq 1,15$
Necessidades de arrefecimento	Não aplicável	$N_{vc}/N_v \leq 1,25$	$N_{vc}/N_v \leq 1,15$
Desempenho energético			
Classe energética	Igual ou superior a C		
Energia primária total	$R_{NT} \leq 1,50$		
Energia primária renovável	$Ren_{Hab} \geq 0,50$		

3 Metodologia

Neste capítulo descreve-se a metodologia aplicada ao presente estudo a fim de avaliar e responder aos principais objetivos enumerados no subcapítulo 1.2.

Numa primeira fase, procedeu-se ao desenvolvimento da ferramenta de apoio numa folha de cálculo EXCEL com o intuito de determinar o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado com uma determinada configuração. A ferramenta inclui ainda uma base de dados de componentes constituintes do vão envidraçado (área transparente, caixilho e perfil espaçador) já certificados pela *Passive House Institute* (PHI). A organização da ferramenta encontra-se de forma detalhada no subcapítulo 3.1. No Anexo A do presente documento apresenta-se um guia de utilização da mesma.

De seguida, procedeu-se à análise e caracterização do desempenho energético dos três casos de estudo (piso térreo, piso intermédio e último piso) em quatro estados diferentes - *Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*. A informação relativa à classe energética das três frações consoante o estado em estudo foi obtida através do preenchimento da folha de cálculo Itecons para avaliação do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios de habitação, que tem por base o recente Decreto-Lei n.º 101-D/2020.

A folha de cálculo Itecons é utilizada no âmbito da certificação energética dos edifícios e é disponibilizada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade da Universidade de Coimbra [78]. A folha permite ao utilizador inserir diversas informações acerca da fração em estudo, nomeadamente, a identificação geográfica, o levantamento dimensional, a caracterização da envolvente e especificações dos sistemas técnicos. Após a caracterização da fração, obtêm-se os resultados de dois balanços de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência, nos quais incluem as necessidades nominais anuais de energia útil para os diversos usos regulados, nomeadamente, aquecimento e arrefecimento ambiente, preparação de AQS, ventilação mecânica e energia renovável para autoconsumo. Desta forma, foi possível conhecer a classe de eficiência energética de cada uma das frações de habitação quando submetidas às diferentes situações. A determinação dos balanços de energia primária segue a metodologia de cálculo constante do Manual SCE, que se encontra detalhado nos subcapítulos 3.2 e 3.3.

Adicionalmente, a folha de cálculo Itecons também permite simular o edifício com a implementação de medidas de melhoria, nomeadamente, ao nível da envolvente, pela alteração dos respetivos parâmetros térmicos, ou ainda a substituição de sistemas técnicos mais eficientes, entre outros. Para o presente estudo, aplicaram-se apenas medidas de melhoria ao nível da envolvente envidraçada nos estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*.

Para o estado *PH calculado*, recorreu-se à ferramenta de apoio desenvolvida anteriormente para a determinação dos coeficientes $U_{W,instalado}$ dos vãos envidraçados que constituem as frações de habitação.

3.1 Desenvolvimento da ferramenta de apoio no âmbito dos vãos envidraçados

A ferramenta de apoio foi desenvolvida numa folha de cálculo EXCEL, sendo que o valor a obter para o coeficiente de transmissão térmica para um determinado vão envidraçado (U_W) deve cumprir com os requisitos de referência para a envolvente envidraçada propostos pela Portaria n.º 138-I/2021, conforme a Tabela 2.12, e ainda com os valores de referência estabelecidos pela *Passive House* para a zona climática correspondente para Portugal, de acordo com a Tabela 2.8 do presente documento. A ferramenta inclui ainda uma base de dados com soluções disponíveis no mercado já certificadas pela

PHI para os componentes da área transparente, do caixilho e para o perfil intercalar ou espaçador. Esta encontra-se organizada de acordo com o seguinte:

- I. Índice
- II. Informações gerais
- III. Configuração do vão envidraçado
- IV. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado
- V. Base de dados de componentes certificados pela *Passive House*
 - V.I Área transparente
 - V.II Caixilho
 - V.III Perfil intercalar ou espaçador

O separador informações gerais (II.) tem como objetivo informar e orientar o técnico autor de projeto para o correto funcionamento da ferramenta de cálculo. Na configuração do vão envidraçado (III.) efetua-se a escolha da configuração do vão em estudo pela seleção de apenas uma de três opções (com quadrícula, sem quadrícula ou predefinida) detalhadas em 3.1.1. No mesmo separador, determinam-se os parâmetros dimensionais, como a área do vão envidraçado (A_W), a área transparente (A_g) e a área do caixilho (A_f), o perímetro da instalação do vão envidraçado aos elementos de construção adjacentes ($l_{instalação}$) e o perímetro ocupado pelo espaçador (l_g).

No separador seguinte (IV.), procede-se ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, onde é necessário escolher os coeficientes de transmissão térmica da área transparente (U_g) e do caixilho (U_f), e o coeficiente de transmissão térmica linear do espaçador (Ψ_g) e da instalação ($\Psi_{instalação}$). A escolha dos coeficientes deve ser feita de acordo com a base de dados dos componentes já certificados pela PHI, indicados nos separadores V.I, V.II e V.III.

O cálculo do coeficiente U_W é efetuado por intermédio de dois cálculos, cálculo 1 e 2, que correspondem, respetivamente, ao que é aplicado pelo Manual SCE e pela *Passive House*. Ambos os métodos têm por base as normas EN ISO 10077-1 e EN ISO 10077-2 [51], [52], porém, o cálculo 2 considera a instalação do vão envidraçado nos elementos de construção adjacentes, que não faz parte da norma EN ISO 10077-1, ao contrário do cálculo 1. Por outro lado, este permite o cálculo do valor U_W considerando uma configuração do vão envidraçado com quadrículas interiores.

Por fim, são apresentados os resultados que correspondem aos dois cálculos, cujos valores devem ser iguais ou inferiores aos respetivos requisitos e valores de referência para a envolvente envidraçada.

3.1.1 Configuração do vão envidraçado

O cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado requer primeiramente a escolha da configuração do vão envidraçado. Consideraram-se três configurações para o vão envidraçado - sem quadrículas interiores, com quadrículas interiores e predefinida. A última configuração representa a opção já predefinida pelo autor de projeto, seja esta com ou sem quadrículas interiores, e é aplicada na situação em que já são conhecidas as áreas do vão envidraçado (A_W), da área transparente (A_g) e do caixilho (A_f), bem como o perímetro da instalação ($l_{instalação}$), do espaçador (l_g) e aquele que é ocupado pelas quadrículas interiores (l_{gb}), se for aplicável. Caso contrário, estes parâmetros devem ser determinados conforme indicado na Figura 3.2.

É importante referir que a presente ferramenta considera apenas as geometrias retangulares ou quadrangulares do vão envidraçado, tal como está representado na Figura 3.1, excluindo as outras opções.

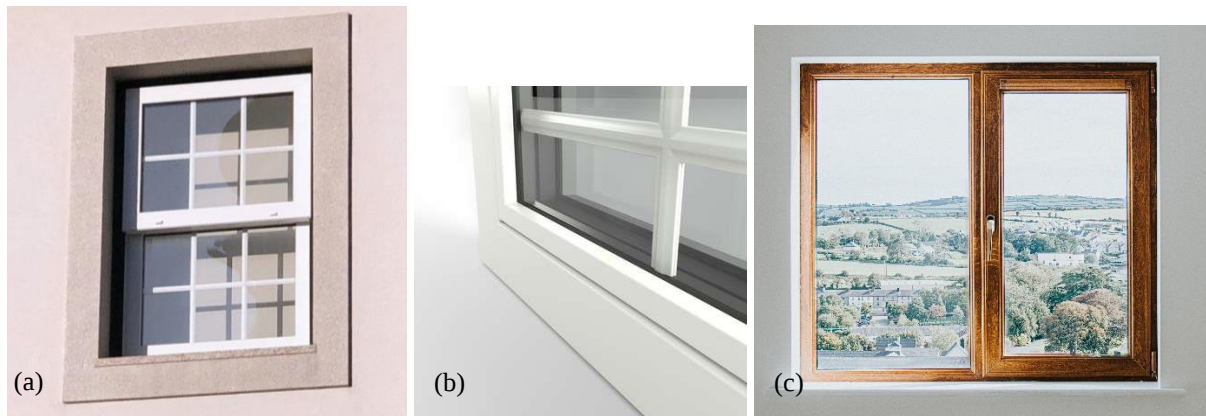
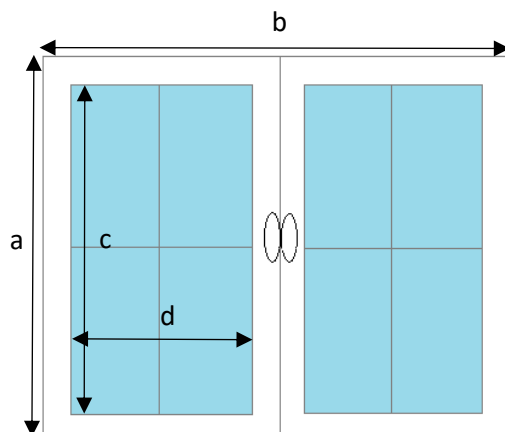


Figura 3.1: Configuração de vãos envidraçados com quadrícula interior (a) e (b), e sem quadrícula interior (c) (Fonte: [79], [80])

Os parâmetros dimensionais devem ser determinados de acordo com o exemplo da Figura 3.2 [53]. O termo n_{folhas} representa a quantidade de folhas que constituem o vão envidraçado. Para a determinação do perímetro total ocupado pelas quadrículas interiores em n_{folhas} é necessário multiplicar as quadrículas "d" na horizontal ($n_{horizontal}$) e as quadrículas "c" na vertical ($n_{vertical}$) pelos respetivos comprimentos "d" e "c", em metros.



$$A_W = a \times b \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.1)$$

$$A_g = n_{folhas} \times (c \times d) \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.2)$$

$$A_f = A_W - A_g \text{ [m}^2\text{]} \quad (3.3)$$

$$l_g = n_{folhas} \times (2 \times c + 2 \times d) \text{ [m]} \quad (3.4)$$

$$l_{instalação} = (2 \times a) + (2 \times b) \text{ [m]} \quad (3.5)$$

$$l_{gb} = (n_{vertical} \times c) + (n_{horizontal} \times d) \text{ [m]} \quad (3.6)$$

Figura 3.2: Parâmetros dimensionais de um vão envidraçado

As quadrículas interiores são colocadas no espaço intermédio entre os vidros, sendo consideradas geralmente para vidros duplos e triplos. Podem ser metálicas ou plásticas e influenciam o desempenho térmico do vão envidraçado através do coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar (Ψ_{gb}). Na situação em que o vão envidraçado não disponha de quadrículas, o valor de Ψ_{gb} é zero. Caso contrário, a solução das quadrículas a adotar deve ser obtida pela Tabela 3.1, conforme previsto na norma EN ISO 10077-1. Depende do tipo de vidro, da inexistência ou existência de revestimento e da distância entre o vidro e a quadrícula interior (d_{gb}) [53].

Tabela 3.1: Coeficiente de transmissão térmica linear do efeito da quadrícula interior metálica e plástica (Fonte: [53])

Tipo de vidro	Distância entre o vidro e a quadrícula inserida no espaço de ar d_{gb} [mm]	Ψ_{gb} [W/(m.K)] ²⁰			
		Quadrícula metálica		Quadrícula de plástico	
		Vidro sem revestimento	Vidro com $\varepsilon \leq 0,20$ ²¹	Vidro sem revestimento	Vidro com $\varepsilon \leq 0,20$
Vidro duplo	$2 \leq d_{gb} \leq 4$	0,03	0,07	0	0,04
	$d_{gb} \geq 4$	0,01	0,04	0	0,02
Vidro triplo com quadrícula apenas numa caixa de ar ou gás	$2 \leq d_{gb} \leq 4$	-	0,03	-	0,02
	$d_{gb} \geq 4$	-	0,01	-	0,01
Vidro triplo com quadrícula nas duas caixas de ar ou gás	$2 \leq d_{gb} \leq 4$	-	0,05	-	0,03
	$d_{gb} \geq 4$	-	0,02	-	0,02

De acordo com a PHI, os vãos envidraçados constituídos por vidros triplos ou quádruplos permitem um isolamento mais elevado do que os vidros duplos, por isso a maioria dos componentes já certificados pela PHI são vidros triplos de baixa emissividade (*low-e*) [81]. Desta forma, incluem-se apenas soluções com vidros triplos *low-e* na base de dados da ferramenta de apoio.

O perfil intercalar ou espaçador é aplicado apenas para vidros duplos ou triplos e representam o elemento estrutural de ligação que garante a estabilidade e resistência física do vidro. O aço inoxidável é o metal que apresenta maior desempenho energético, mas existem outros materiais não metálicos que promovem uma elevada eficiência energética tais como termoplásticos, fibra de vidro, silicone, espumas ou sistemas híbridos [82]. O desempenho energético do espaçador é influenciado pelo coeficiente de transmissão térmica linear resultante da ligação entre da área transparente com o caixilho (Ψ_g). Toma o valor de zero para um vidro simples, quando não existem espaçamentos, variando apenas no caso de vidros duplos ou triplos. Na ferramenta de cálculo, este valor é obtido a partir da base de dados, na qual se destacam os espaçadores de aço inoxidável ou combinados com aço inoxidável e plástico.

²⁰ Estes valores apenas podem ser considerados para quadrículas com espessura igual ou inferior a 30 mm [53].

²¹ Vidro com baixa emissividade ($\varepsilon \leq 0,20$) [53].

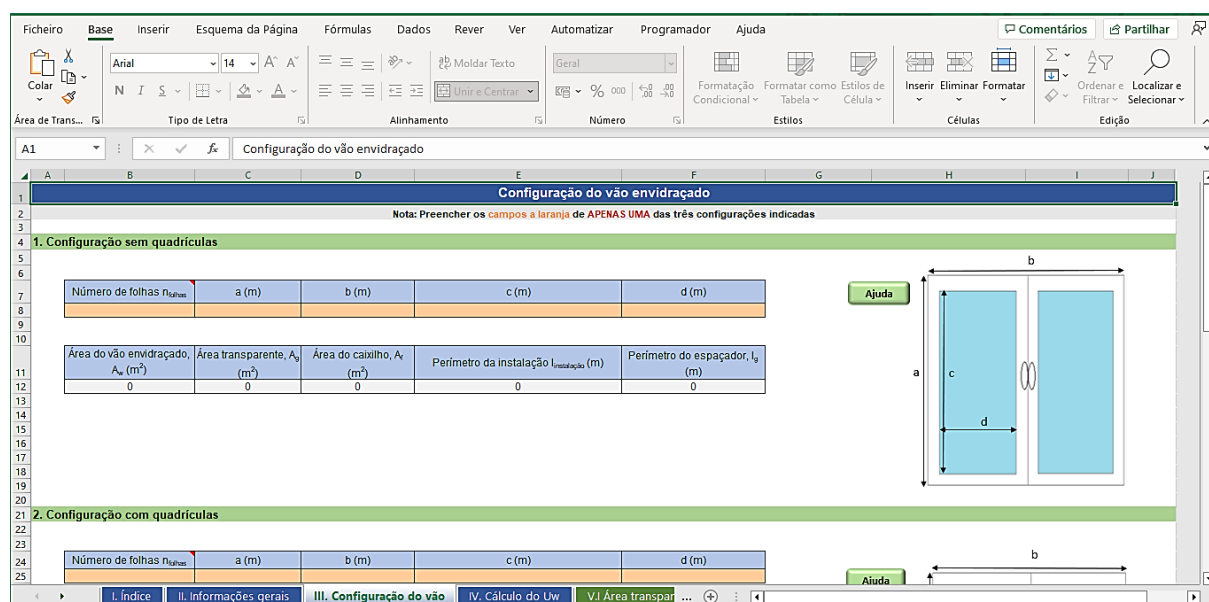


Figura 3.3: Separador "III. Configuração do vão envidraçado" da ferramenta de apoio

3.1.2 Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado

O coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado U_W é determinado de acordo com as normas europeias em vigor EN ISO 10077-1:2017 (*Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 1: General*) e EN ISO 10077-2:2017 (*Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method frames*) [51], [52].

A ferramenta de cálculo inclui duas alternativas de cálculo, cálculo 1 e cálculo 2, que correspondem, respetivamente, ao que é aplicado pelo Manual SCE e pela *Passive House*. Ambas têm por base as normas enunciadas anteriormente.

Conforme consta no Manual SCE, o cálculo 1 é efetuado através da Equação (3.7). Depende do tipo de vidro, do material de caixilharia, e respetivas áreas, do espaçador e do efeito térmico resultante do espaçamento entre vidros e das quadriculas inseridas espaço de ar [53].

$$U_W = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_{gb} \cdot \Psi_{gb}}{A_W} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (3.7)$$

Em que:

- ❖ U_W representa o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar $[W/(m^2 \cdot K)]$;
- ❖ U_g representa o coeficiente de transmissão térmica da área transparente $[W/(m^2 \cdot K)]$;
- ❖ U_f representa o coeficiente de transmissão térmica do caixilho $[W/(m^2 \cdot K)]$;
- ❖ A_W representa a área do vão envidraçado $[m^2]$;
- ❖ A_g representa a área transparente $[m^2]$;
- ❖ A_f representa a área do caixilho $[m^2]$;
- ❖ Ψ_g representa o coeficiente de transmissão térmica linear do espaçador ou da ligação da área transparente com o caixilho $[W/(m \cdot K)]$;

- ❖ Ψ_{gb} representa o coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar $[W/(m.K)]$;
- ❖ l_g representa o desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho ou perímetro da área transparente $[m]$;
- ❖ l_{gb} representa o desenvolvimento linear da quadrícula inserida no espaço de ar $[m]$;

Para o cálculo 2, considerou-se a Equação (3.8) para determinação do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado instalado ($U_{W,instalado}$). Aqui desprezam-se os parâmetros relacionados com as quadrículas interiores (Ψ_{gb} e l_{gb}), incluindo ao invés os parâmetros relacionados com a instalação do vão envidraçado nos elementos de construção adjacentes ($l_{instalação}$ e $\Psi_{instalação}$), que não fazem parte da norma ISO 10077-1 [50]. Na Figura 2.6 encontram-se representados os parâmetros envolvidos na Equação (3.8).

$$U_{W,instalado} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_{instalação} \cdot \Psi_{instalação}}{A_W} [W/(m^2.K)] \quad (3.8)$$

Em que:

- ❖ $U_{W,instalado}$ representa o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado instalado nos elementos de construção adjacentes $[W/(m^2.K)]$;
- ❖ U_g representa o coeficiente de transmissão térmica da área transparente $[W/(m^2.K)]$;
- ❖ U_f representa o coeficiente de transmissão térmica do caixilho $[W/(m^2.K)]$;
- ❖ A_W representa a área do vão envidraçado $[m^2]$;
- ❖ A_g representa a área transparente $[m^2]$;
- ❖ A_f representa a área do caixilho $[m^2]$;
- ❖ Ψ_g representa o coeficiente de transmissão térmica linear do espaçador ou da ligação da área transparente com o caixilho $[W/(m.K)]$;
- ❖ l_g representa o desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho $[m]$;
- ❖ $\Psi_{instalação}$ corresponde ao coeficiente de transmissão térmica linear da ligação dos componentes de construção adjacentes $[W/(m.K)]$;
- ❖ $l_{instalação}$ corresponde ao perímetro da instalação $[m]$.

Os coeficientes U_g , U_f e Ψ_g são obtidos através da base de dados presente na ferramenta de apoio com soluções existentes no mercado disponíveis no portal *Component Database* da PHI [81].

Uma vez obtidos os parâmetros necessários ao cálculo do coeficiente U_W , são apresentados os dois resultados relativos ao cálculo 1 e cálculo 2, com os respetivos valores de referência a que devem obedecer (Figura 3.4). Para o cálculo 1, o resultado obtido deve ser inferior ou igual ao $U_{W,max}$ indicado na Tabela 2.12 do presente documento. Relativamente ao cálculo 2, considera-se para referência o valor $U_{W,instalado}$ conforme previsto na Tabela 2.8. A Figura 3.4 representa um exemplo de output dos dois cálculos e a sua validação de acordo o valor de referência correspondente. Na situação em que o valor calculado é inferior ou igual ao de referência retorna “verde”, caso contrário, supera esse limite e retorna “vermelho”.

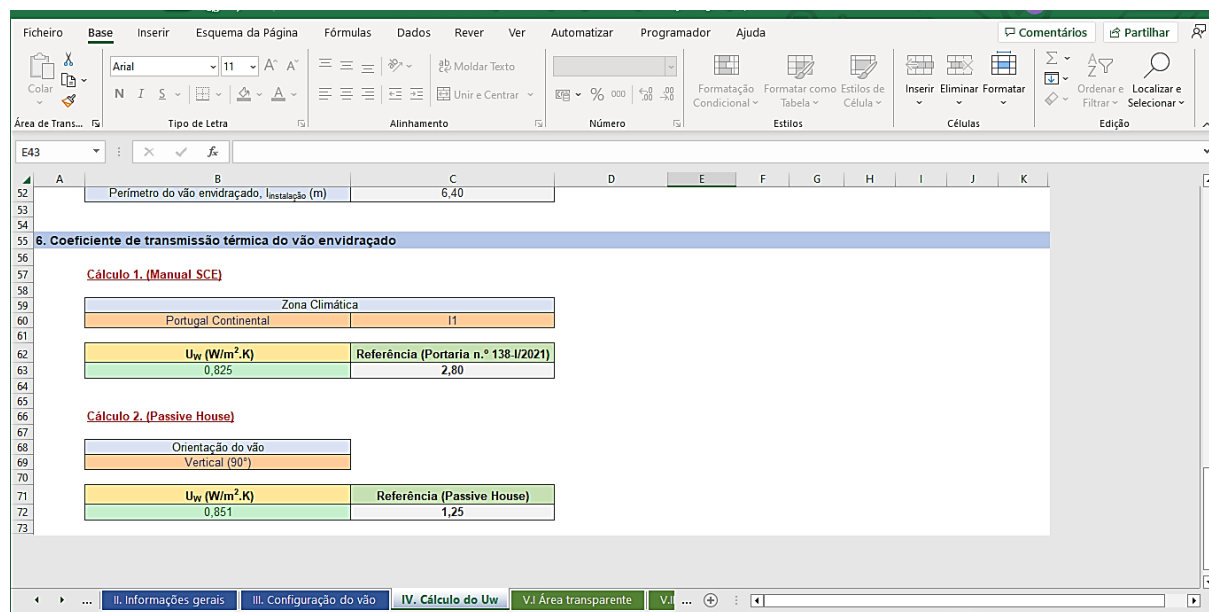


Figura 3.4: Separador "IV. Cálculo de U_w " da ferramenta de apoio

3.2 Métodos de cálculo

De acordo com o Manual SCE para a certificação energética dos edifícios, existem três métodos distintos para a determinação das necessidades energéticas anuais para aquecimento e arrefecimento ambiente e respetivo desempenho energético dos edifícios, conforme descritos na norma EN ISO 13790:2008 - *Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling* [53]. Os métodos podem ser agrupados em:

- Método quase-estacionário, que pressupõe o cálculo do balanço energético numa base de tempo mensal ou sazonal;
- Métodos dinâmicos, que assumem uma base de tempo horária. Estes incluem o cálculo dinâmico simplificado monozona (CDSM) e simulação dinâmica multizona (SDM).

O método quase-estacionário permite determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente que é necessário fornecer ao edifício para manter uma temperatura interior de referência, considerando uma base temporal mensal ou sazonal, ou seja, aplicada para cada mês do ano ou durante as estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão). Estas necessidades resultam de um balanço entre as perdas e os ganhos térmicos de forma a manter o conforto térmico dos ocupantes do edifício durante esse período temporal [53]. O regime quase-estacionário considera a inércia térmica dos edifícios, que traduz a capacidade que os materiais construtivos apresentam para armazenar energia sob a forma de calor [83]. Esse fluxo de calor é posteriormente dissipado para o interior, variando a sua temperatura ao longo do tempo. Essa variação da temperatura será diferente de zero, ou seja, $\frac{d\theta}{dt} \neq 0$.

Os métodos dinâmicos são usados normalmente para determinar os balanços energéticos de edifícios de comércio e serviços para mais do que uma zona térmica²² (SDM) ou para apenas uma única zona térmica (CDSM) numa base horária [53].

É importante referir que atualmente já não se encontra em vigor a norma EN ISO 13790, sendo substituída pela EN ISO 52016-1:2017 que veio introduzir pequenas alterações no método quase-estacionário relativas à base temporal em estudo. Esta norma admite a análise dos balanços de energia nas bases de tempo horária e mensal, excluindo a base de tempo sazonal [84].

Apesar da alteração das normas, a nível nacional pressupõem-se a abordagem de cálculo quase-estacionário na base de tempo sazonal para a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente de um edifício residencial, conforme indica o Manual SCE.

3.3 Metodologia Manual SCE - Balanços de energia primária para edifícios de habitação

Conforme consta no Manual SCE [53], o nível de desempenho energético e respetiva classe energética de um edifício são determinados com base no cálculo de dois balanços de energia primária, aplicados ao edifício previsto (em estudo) e ao edifício referência, do qual resultam dois indicadores energéticos, N_{tc} e N_t que correspondem, respetivamente, às necessidades nominais anuais de energia primária do edifício previsto e de referência.

O balanço de energia primária de um edifício previsto é representado pelas necessidades nominais anuais de energia primária que satisfazem anualmente as necessidades energéticas para os usos regulados - aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento ambiente (N_{vc}), preparação de águas quentes sanitárias (Q_a), e sistemas de ventilação mecânica (W_{vm}).

O balanço de energia primária do edifício de referência é representado pelas necessidades nominais anuais de energia primária de referência, que incluem as necessidades de energia anuais para os usos regulados - aquecimento (N_i) e arrefecimento (N_v) e preparação de AQS ($Q_{a_{ref}}$) – considerando, para tal, condições de referência para a envolvente e para os sistemas técnicos. Não considera a existência de sistemas renováveis e de ventilação mecânica, sendo que a ventilação se processa exclusivamente de forma natural.

Tendo em conta que as necessidades de energia para os usos regulados são representadas como consumo de energia útil, em kWh/(m².ano), é necessário converter para consumo de energia final através da eficiência dos sistemas técnicos, que por sua vez será convertido para consumo de energia primária, em kWh_{EP}/(m².ano), pela multiplicação do fator de conversão para energia primária.

Posto isto, é possível determinar a classe energética do edifício (R_{Nt}) através do rácio entre N_{tc} e N_t expresso na Equação (3.9), cujo valor estará compreendido no intervalo de valores da Tabela 3.2.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.9)$$

²² “Zona térmica” representa o espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização, iluminação e equipamentos, ventilação mecânica e sistema de climatização e, quanto aos espaços climatizados, igualmente devido às similaridades em termos de condições de exposição solar [76].

Tabela 3.2: Intervalo de valores para a classe de eficiência energética para edifícios de habitação (Fonte: [53])

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	$R_{Nt} > 2,50$

3.3.1 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício de habitação previsto (N_{ic}) traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura interior de referência de 18°C ($\theta_{ref,i}$) durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento.

A determinação das necessidades de energia útil para aquecimento é feita por aplicação do método sazonal, previsto na norma EN ISO 13790, com as devidas adaptações permitidas pela norma. Para simplificação do cálculo, considera-se cada edifício ou fração como uma única zona térmica, com as mesmas condições interiores de referência, e a ocorrência de fenómenos de transferência de calor envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento.

A Equação (3.10) indica que as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício previsto resultam da diferença entre as perdas, representadas pela transferência de calor por transmissão e ventilação, e os ganhos úteis, resultantes de fontes de calor internas e dos ganhos solares.

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} [kWh/(m^2 \cdot ano)] \quad (3.10)$$

Em que:

- ❖ $Q_{tr,i}$ e $Q_{ve,i}$ representam a transferência de calor por transmissão (condução, convecção e radiação) e por ventilação na estação de aquecimento, respetivamente [kWh/ano];
- ❖ $Q_{gu,i}$ representa os ganhos térmicos úteis resultantes dos ganhos solares obtidos pelos vãos envidraçados ($Q_{sol,i}$), e dos ganhos associados a fontes internas de calor ($Q_{int,i}$), como iluminação, equipamentos e ocupantes, na estação de aquecimento [kWh/ano];
- ❖ A_p representa a área interior útil de pavimento [m^2].

A metodologia de cálculo para cada um dos parâmetros envolvidos na Equação (3.10) encontra-se de forma detalhada na subsecção B.1.1 do Anexo B.

A transferência de calor por transmissão e por ventilação através da fronteira da envolvente é proporcional à diferença de temperatura entre o ar interior e exterior ($Q_{tr,i}$ e $Q_{ve,i} \propto \theta_{int} - \theta_{ext}$). Quando a temperatura ambiente exterior é inferior à temperatura do espaço interior útil, tipicamente verificada ao longo da estação de aquecimento, a transferência de calor é contabilizada para o cálculo como perdas térmicas pela envolvente do edifício. Caso contrário, será contabilizado como ganhos térmicos [83].

Os ganhos térmicos úteis, por outro lado, não são proporcionais à diferença de temperatura e correspondem à fração útil dos ganhos brutos ($Q_{g,i}$) contabilizados na habitação. Estes ganhos úteis variam em função do fator de utilização dos ganhos térmicos (η_i), cujo valor depende da classe de inércia térmica do edifício.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de referência (N_i) traduzem a quantidade de energia necessária para manter o edifício de referência a uma temperatura de 18°C durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. São consideradas condições de referência para a transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,i_{ref}}$), para transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,i_{ref}}$) e para os ganhos de calor úteis ($Q_{gu,i_{ref}}$). A determinação das necessidades N_i é efetuada de acordo com a Equação (3.11). Na situação em que resulta um valor inferior a 5 kWh/(m².ano) por aplicação desta equação, assume-se este mesmo valor.

$$N_i = \frac{Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}}}{A_p} [kWh/(m^2.ano)] \quad (3.11)$$

Em que:

- ❖ $Q_{tr,i_{ref}}$ e $Q_{ve,i_{ref}}$ representam a transferência de calor por transmissão (condução, convecção e radiação) e por ventilação de referência na estação de aquecimento, respetivamente [kWh/ano];
- ❖ $Q_{gu,i_{ref}}$ representa os ganhos térmicos úteis de referência na estação de aquecimento [kWh/ano];
- ❖ A_p representa a área interior útil de pavimento [m²].

A determinação dos parâmetros de transferência de calor por transmissão, ventilação e os ganhos de calor úteis de referência presentes na Equação (3.11) é efetuada tal como no edifício previsto, considerando algumas particularidades que estão detalhadas na subsecção B.1.2 do Anexo B.

3.3.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura interior de referência de 25°C ($\theta_{ref,v}$) durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento, que toma o valor fixo de 4 meses (julho a setembro), correspondendo a um total de 2928 horas. Incluem a transferência de calor pela envolvente, por ventilação e os ganhos térmicos.

São igualmente determinadas com base na metodologia prevista na norma EN ISO 13790 através do método de cálculo sazonal, aplicada ao edifício ou fração como única zona com as mesmas condições interiores de referência, e com ocorrência de fenómenos de transferência de calor envolvidos em regime permanente, ao longo da estação de arrefecimento.

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) do edifício previsto são determinadas de acordo com a Equação (3.12).

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) \times Q_{g,v}}{A_p} [kWh/(m^2.ano)] \quad (3.12)$$

Em que:

- ❖ η_v representa o fator de utilização de ganhos térmicos na estação de arrefecimento;
- ❖ $Q_{g,v}$ representa os ganhos térmicos brutos, resultantes dos ganhos térmicos internos médios (iluminação, equipamentos, ocupação), que tomam o valor fixo de 4 W/m², e ganhos solares pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca na estação de arrefecimento [kWh/ano].
- ❖ A_p representa a área interior útil de pavimento [m²].

O fator η_v varia em função da inércia térmica do edifício (α_{it}) e do parâmetro γ_v , que representa a relação entre os ganhos térmicos brutos e a soma das transferências de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$) e por ventilação ($Q_{ve,v}$). A metodologia de cálculo para os parâmetros presentes na Equação (3.12) encontra-se detalhada na subsecção B.2.1 do Anexo B.

Ao contrário das necessidades de energia útil para aquecimento, que consideram os ganhos úteis para a sua determinação, na estação de arrefecimento, contabilizam-se os ganhos não úteis para o cálculo das necessidades de energia para arrefecimento ($1 - \eta_v$).

Para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v) do edifício de referência aplica-se a Equação (3.13), mantendo igualmente a habitação a uma temperatura de 25°C durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{v_{ref}}) \times Q_{g,v_{ref}}}{A_p} \text{ [kWh/(m}^2 \cdot \text{ano)]} \quad (3.13)$$

Em que:

- ❖ $\eta_{v_{ref}}$ representa o fator de utilização de ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento;
- ❖ $Q_{g,v}$ representa os ganhos térmicos brutos de referência na estação de arrefecimento [kWh/ano].
- ❖ A_p representa a área interior útil de pavimento [m²].

A metodologia de cálculo para cada um dos parâmetros envolvidos na Equação (3.13) encontra-se de forma detalhada na subsecção B.2.2 do Anexo B do presente documento, bem como as condições de referência necessárias ao cálculo.

3.3.3 Necessidades nominais anuais de energia útil para AQS

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 (3.14).

$$Q_a = \frac{M_{aqs} \times 4,187 \times \Delta T \times n_d}{3600} \text{ [kWh/ano]} \quad (3.14)$$

Em que:

- ❖ M_{AQS} representa o consumo médio diário de referência [litros];

- ❖ ΔT representa o aumento de temperatura necessário para preparação das AQS, assumindo o valor fixo de 35 [°C];
- ❖ n_d representa o número anual de dias de consumo de AQS, assumindo o valor fixo de 365 [dias/ano].

O consumo médio diário de referência (M_{AQS}) é determinado conforme a Equação (3.15), no qual inclui o número de ocupantes da habitação, que varia em função da sua tipologia (n_{oc}), 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 1.

$$M_{aqs} = 40 \times n_{oc} \times f_{eh} \text{ [litros]} \quad (3.15)$$

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.

3.3.4 Consumo de ventilação mecânica

Para edifícios de habitação que disponham de sistemas mecânicos de ventilação com funcionamento contínuo ou cujo funcionamento seja independente da ação do utilizador, seja de caudal variável ou constante, o consumo de energia elétrica do funcionamento do ventilador (W_{vm}) é determinado de acordo com a Equação (3.16). 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.

$$W_{vm} = \frac{V_f}{3600} \times \frac{\Delta P_{tot}}{\eta_{tot}} \times \frac{H_f}{1000} \text{ [kWh/ano]} \quad (3.16)$$

Em que:

- ❖ V_f representa o caudal de ar médio diário escoado através do ventilador [m^3/h];
- ❖ ΔP_{tot} representa a diferença de pressão total no ventilador [Pa];
- ❖ η_{tot} representa a eficiência da unidade de ventilação;
- ❖ H_f representa o número de horas anuais de funcionamento do ventilador [h/ano]. Na ausência de informação, devem ser consideradas 8760 h (24 h durante 365 dias).

Na situação em que sejam desconhecidos os valores de ΔP_{tot} e η_{tot} presentes na Equação (3.16), a determinação do consumo de energia elétrica deve ser efetuada de acordo com a Equação (3.17), ou com Equação (3.18) para sistemas mistos de baixa pressão (inferior a 20 Pa).

$$W_{vm} = 0,3 \times V_f \times \frac{H_f}{1000} \text{ [kWh/ano]} \quad (3.17)$$

$$W_{vm} = 0,03 \times V_f \times \frac{H_f}{1000} \text{ [kWh/ano]} \quad (3.18)$$

Para o edifício de referência, a ventilação processa-se exclusivamente de forma natural, sendo que $W_{vm} = 0$ kWh/ano.

3.3.5 Energia renovável para autoconsumo

O balanço de energia primária para o edifício previsto contabiliza ainda a energia renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados (E_{ren}), variando consoante o tipo de sistema de produção e da fonte de energia que o alimenta. A metodologia de cálculo para os diferentes tipos de sistemas de aproveitamento renovável, nomeadamente, sistemas solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos, sistemas de biomassa, geotermia, mini-hídrica e bombas de calor aerotérmicas ou geotérmicas, encontra-se detalhada no subcapítulo 16.1.5 do Manual SCE. Este consumo energético não é contabilizado para o edifício de referência.

3.3.6 Necessidades nominais anuais de energia primária

O balanço de energia primária para o edifício previsto resulta no indicador N_{tc} , que representa as necessidades nominais anuais de energia primária para os diferentes usos regulados mencionados anteriormente, subtraindo a este total a contribuição das fontes de energia renovável utilizados para estes usos, como demonstrado na Equação (3.19).

Para se obter o balanço final em energia primária, é necessário converter as necessidades de energia útil dos vários usos regulados para consumo de energia final através da eficiência dos sistemas técnicos, e este consumo, por sua vez, é convertido em energia primária através do fator de conversão (F_{pu}).

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_{ic}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_i \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_{vc}}{\eta_k} \right) \cdot \delta_v \cdot F_{pu,j} \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \cdot F_{pu,j} \\
 & - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p} \quad [kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)]
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

Em que:

- ❖ N_{ic} e N_{vc} representam as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, respetivamente $[kWh / (m^2 \cdot ano)]$;
- ❖ Q_a representa as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS $[kWh/ano]$;
- ❖ $W_{vm,j}$ representa o consumo de energia elétrica j do funcionamento do ventilador $[kWh/ano]$;
- ❖ $E_{ren,p}$ representa a 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 $f_{a,k}$ correspondem, respetivamente, às parcelas das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j . São determinadas pela razão entre a área dos compartimentos servidos pelo sistema k e a área interior útil de pavimento (A_p). O somatório das parcelas para os diferentes usos deve ser igual a 1.
- ❖ η_k representa a eficiência do sistema k para a fonte de energia j . Assume o valor de 1 no caso de sistemas de cogeração ou trigeração e de sistemas que recorram a fontes de 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 $[kWh_{EP}/kWh]$. Este fator assume o valor de

2,5 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.

Na ausência de sistemas técnicos para uma determinada função, assume-se o sistema por defeito e a eficiência correspondente indicados na Tabela 95 do Manual SCE. Para além desta, devem ser consideradas outras regras e orientações para aplicação da Equação (3.19), detalhadas no subcapítulo 16.1.7 do mesmo manual.

O balanço de energia primária para o edifício de referência representado pelo indicador N_t representa o total de energia primária para satisfazer anualmente as necessidades de aquecimento (N_i) e arrefecimento ambiente (N_v) e de preparação de AQS ($Q_{a_{ref}}$) para um edifício que inclui soluções de referência para a envolvente e para os seus sistemas técnicos, mantendo as restantes características da habitação. Estas condições de referência asseguram um nível mínimo admissível de desempenho energético.

Os consumos associados aos sistemas de ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento renovável não são tidos em consideração, como indicado na Equação (3.20). A conversão para energia primária é igualmente feita através da eficiência do sistema ($\eta_{ref,k}$) e do fator de conversão ($F_{pu,j}$).

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \cdot N_i}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \cdot N_v}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_{a_{ref}} / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) \cdot F_{pu,j} \quad [kWh_{EP} / (m^2 \cdot ano)] \quad (3.20)$$

Em que:

- ❖ N_i e N_v representam as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento de referência, respetivamente [$kWh / (m^2 \cdot ano)$];
- ❖ $Q_{a_{ref}}$ representa as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS de referência [kWh / ano];
- ❖ Os fatores $f_{i,k}$, $f_{v,k}$ e $f_{a,k}$ correspondem, respetivamente, às parcelas das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS supridas pelo sistema k para a fonte de energia j . São determinadas pela razão entre a área dos compartimentos servidos pelo sistema k e a área interior útil de pavimento (A_p). O somatório das parcelas para os diferentes usos deve ser igual a 1.
- ❖ $\eta_{ref,k}$ representa a eficiência de referência do sistema k para a fonte de energia j . É obtida através da Tabela 99 do Manual SCE na situação em que se verifique a ausência de sistemas técnicos para uma determinada função.
- ❖ $F_{pu,j}$ é o fator de conversão de energia final para energia primária para a fonte de energia j , excluindo a renovável [kWh_{EP} / kWh]. Este fator assume o valor de 2,5 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, e de 1,86 ou 1,70 kWh_{EP}/kWh para a energia proveniente de sistemas de cogeração e trigeração, respetivamente.

A aplicação da Equação (3.20) deve seguir ainda um conjunto de regras e orientações detalhadas no subcapítulo 16.2.4 do Manual SCE.

A relação entre estes dois indicadores associados ao balanço de energia primária do edifício previsto e de referência permite determinar o nível de desempenho energético da habitação em estudo.

3.3.7 Indicador de energia primária renovável

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 (Ren_{Hab}), 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 na Equação (3.21).

$$Ren_{Hab} = \frac{\sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \cdot F_{pu,p}}{\sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \cdot Q_a / A_p}{\eta_k} \right) \cdot F_{pu,j}} \quad (3.21)$$

Em que:

- ❖ $E_{ren,p}$ representa a 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 representam as 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 de 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]. Este fator assume o valor de 2,5 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.

4 Casos de estudo

4.1 Enquadramento geral

Neste capítulo, procede-se à caracterização das frações de habitação em estudo - piso térreo, piso intermédio e último piso - no seu estado original, ou seja, no *Estado inicial*. As informações relativas aos detalhes de construção e dos sistemas de climatização presentes na fração, foram obtidas através de uma auditoria energética feita unicamente para a fração habitacional do último piso no âmbito do projeto SMILE (*Sintra Motion & Innovation for Low Emissions*) realizado durante a cadeira de Edifícios Sustentáveis do curso de mestrado. Assim, assumiram-se as mesmas características dimensionais e sistemas técnicos para as outras duas frações em estudo, do piso térreo e do piso intermédio. Nos subcapítulos 4.1 a 4.7, faz-se uma análise das frações ao nível da localização e dados climáticos, levantamento dimensional, caracterização da envolvente opaca e envidraçada, ventilação e sistemas técnicos.

De seguida, descrevem-se os estados simulados e os parâmetros em estudo para cada uma das frações (*Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*). As simulações são feitas através da folha de cálculo Itecons, com o objetivo de comparar a classe de eficiência energética das frações nas diferentes situações a que estão sujeitas.

4.2 Localização e dados climáticos

As três frações de habitação estão inseridas num edifício multifamiliar construído entre 1961 e 1970, que se localiza no bairro da tabaqueira, na freguesia de Rio de Mouro, no concelho de Sintra. Está a uma altitude de 128 metros, a mais de 5 km da costa e tem uma altura total (H_{edif}) de 11,84 metros, constituído por quatro pisos. Encontra-se associado à região A (território continental) e caracteriza-se por rugosidade de classe II, uma vez que se encontra na periferia de uma zona urbana.

Na Figura 4.1 está representada uma imagem satélite do edifício em estudo (vermelho) e do edifício/obstáculo que faz sombreamento com este (amarelo). As fachadas expostas à radiação solar estão orientadas a noroeste (NO), a sudoeste (SO) e a sudeste (SE). A fachada nordeste (NE) está em contacto com a fração de habitação vizinha e com a caixa de escadas.



Figura 4.1: Imagem satélite do edifício multifamiliar (vermelho) e obstáculo (amarelo)

A classe de proteção da fachada é considerada como “normal”, uma vez que o valor obtido pela relação entre a distância do edifício ao obstáculo (D_{obs}), igual a 28,5 metros (Figura 4.1, a tracejado amarelo), e a altura deste (H_{obs}), que apresenta a mesma altura do edifício em estudo (H_{edif}), se encontra entre $1,5 \leq D_{obs}/H_{obs} \leq 4$.

Em relação ao clima, o edifício é caracterizado consoante a sua zona climática de inverno (I1, I2 e I3) e de verão (V1, V2 e V3), que se classifica do menos severo ao mais severo para cada estação, e que varia em função da sua localização, conforme a respetiva nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos de nível III (NUTS III). A primeira tem por base o número de graus-dias (GD) na estação de aquecimento, na base de 18°C, e a segunda pela temperatura média exterior na estação de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$). A informação relativa aos dados climáticos obtida através da folha de cálculo Itecons, após o preenchimento dos dados relativos à localização geográfica do edifício, encontra-se na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Dados climáticos relativos à zona climática de inverno e de verão do edifício multifamiliar

Dados climáticos	Estação de aquecimento	Estação de arrefecimento
Duração da estação (meses)	5,4	4
Graus-dia (GD)	1103	
Temperatura exterior média ($\theta_{ext,i}$; $\theta_{ext,v}$)	10,7°C	21,5°C
Zona climática	I1	V2

4.3 Levantamento dimensional e caracterização das frações de habitação

O levantamento dimensional obtido para as divisões interiores é equivalente para as três frações habitacionais em estudo. As diferenças residem na altura da fração em relação ao solo (H_{FA}), no efeito do sombreamento pelos obstáculos e nos espaços interiores não úteis (ENU) que contactam com os espaços interiores úteis. O piso térreo, intermédio e último piso encontram-se a uma altura H_{FA} de 3,67 m, 6,37 m e 11,84 m, respetivamente, como indicado na Figura 4.2.

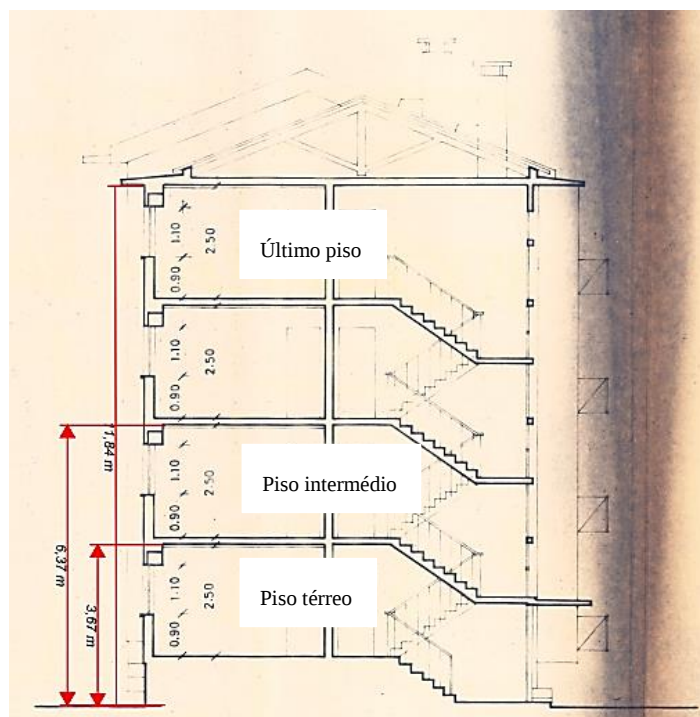


Figura 4.2: Representação das alturas correspondentes ao piso térreo, piso intermédio e último piso do edifício multifamiliar

As três frações apresentam dois quartos correspondendo a uma tipologia T2. São constituídas cada uma por oito espaços interiores úteis com uma área interior útil de pavimento (A_p) de 44,7 m², que por simplificação, representam na sua totalidade uma única zona térmica. Na Tabela 4.2 estão indicadas as dimensões de cada espaço interior útil.

Tabela 4.2: Levantamento dimensional dos espaços interiores úteis das frações em estudo

Espaço interior útil	Área (m ²)	Pé direito (m)	Volume (m ³)
Quarto 1	7,56	2,50	18,89
Quarto 2	9,79	2,50	24,47
Sala comum	8,64	2,50	21,61
Cozinha	8,10	2,50	20,24
Instalação sanitária	3,14	2,50	7,85
Despensa	1,22	2,50	3,05
Armário hall	0,76	2,50	1,91
Corredor	5,47	2,50	13,67
Total	44,67	2,50	111,68

Os espaços interiores não úteis (ENU) que estão em contacto com o espaço interior útil do último piso correspondem à caixa de escadas e ao desvão de cobertura; o piso intermédio contacta apenas a caixa de escadas; e o piso térreo contacta igualmente com a caixa de escadas e, ainda, com o desvão sanitário.

Com o objetivo de quantificar as trocas térmicas entre os espaços interiores úteis e os demais ambientes com os quais podem contactar, estabelecem-se condições fronteira para o efeito, através do coeficiente de redução (b_{ztu}).

Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio ao projeto no âmbito da revisão do regulamento do desempenho energético de edifícios

A determinação do coeficiente de redução (b_{ztu}) foi feita através da Tabela 16 do Manual SCE [53], como indicado na subsecção C.4 do Anexo C. Foi necessário calcular o volume dos espaços interiores não úteis (V_{enu}) como a caixa de escadas, o desvão de cobertura e o desvão sanitário, e a razão entre o somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação que contactam com esses espaços (A_i) e o somatório das áreas dos elementos que separam os mesmos do ambiente exterior (A_u). Os resultados obtidos para o coeficiente b_{ztu} da caixa de escadas, desvão de cobertura e desvão sanitário encontram-se na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Coeficiente de redução (b_{ztu}) dos espaços interiores não úteis

Espaço interior não útil	Caixa de escadas	Desvão da cobertura	Desvão sanitário
Volume, V_{enu} (m ³)	101,64	82,01	54,68
A_i/A_u (m ²)	4,81	2,02	2,38
Ventilação	Fraca (f)	Forte (F)	Fraca (f)
Coeficiente de redução, b_{ztu}	0,40	0,90	0,50

Para as frações em estudo, caracterizaram-se as seguintes condições fronteira (Figura 4.3):

- ❖ Condição fronteira exterior, os elementos que estão em contacto com o ambiente exterior (linha vermelha);
- ❖ Condição fronteira interior com $b_{ztu} \leq 0,7$, os elementos que estão em contacto com a caixa de escadas (linha azul) e com o desvão sanitário (quadrículas azuis, pavimento);
- ❖ Condição fronteira interior com $b_{ztu} > 0,7$, os elementos que estão em contacto com o desvão de cobertura (linha amarela, cobertura);
- ❖ Sem trocas térmicas, os elementos que estão em contacto com frações vizinhas de habitação (linha verde).

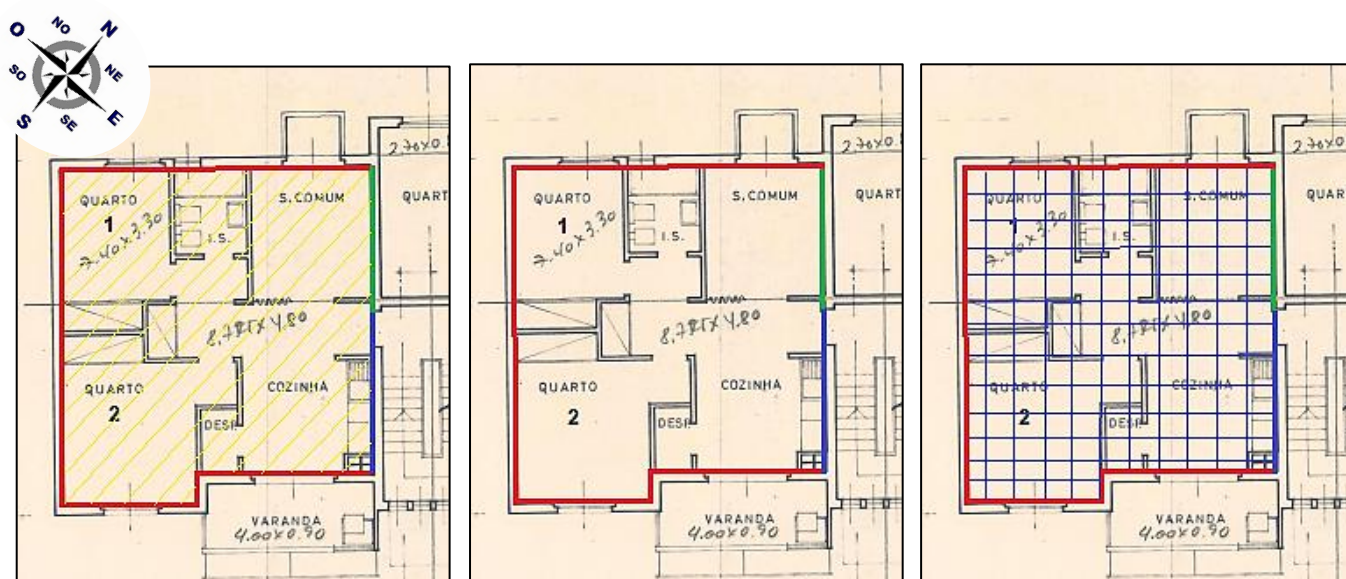


Figura 4.3: Planta das frações do último piso (1), piso intermédio (2) e piso térreo (3) e marcação da respetiva envolvente

4.4 Envolvente opaca

Uma vez que não existem informações acerca das soluções construtivas relativas à envolvente opaca, optou-se pela escolha dos valores por defeito apresentados nas Tabelas 25, 26 e 32 do Manual SCE [53]. Consideraram-se paredes exteriores e interiores simples de 25 cm sem isolamento térmico, uma porta de madeira, uma cobertura interior pesada (betão ou laje aligeirada) horizontal sem isolamento térmico, contabilizada apenas para a fração do último piso, e um pavimento interior pesado (betão ou laje aligeirada) sem isolamento térmico para a fração do piso térreo. A cobertura interior apresenta a mesma área que a área interior útil de pavimento. Os coeficientes de transmissão térmica dos elementos opacos e os respetivos valores de referência ($U_{opacos_{ref}}$) encontram-se na Tabela 4.4. Os valores de referência são os indicados por defeito pela folha Itecons e estão de acordo com a secção 2.7.2 do presente documento.

Tabela 4.4: Coeficientes de transmissão térmica previstos e de referência dos elementos opacos

Elementos opacos	Piso térreo	Piso intermédio	Último piso	$U_{opacos_{ref}}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]
Paredes exteriores, $U_{parede_{ext}}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]	1,30	1,30	1,30	0,50
Paredes interiores, $U_{parede_{int}}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]	1,30	1,30	1,30	0,80
Porta, U_{porta} [$W/(m^2 \cdot K)$]	2,70	2,70	2,70	0,80
Pavimento interior, $U_{pav_{int}}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]	3,10	-	-	0,60
Cobertura interior, $U_{cob_{int}}$ [$W/(m^2 \cdot K)$]	-	-	2,60	0,40

As paredes exteriores apresentam cor de superfície clara (branco), o que corresponde a uma absorptância solar (α_{sol}) de 0,40. No caso do desvão de cobertura, a absorptância solar é influenciada pelo fator de emissividade (F_ε), que toma o valor de 0,80 para um desvão fortemente ventilado e com emissividade normal, resultando numa absorptância calculada ($\alpha_{sol,cálculo}$) de 0,32.

Na ausência de informação relacionada com a constituição dos elementos de construção, considerou-se que a inércia térmica das frações corresponde a uma classe de inércia forte ($\alpha_{it} = 4,2 \text{ W/}^\circ\text{C}$), uma vez que o pavimento tem como solução revestimento de piso cerâmico e a envolvente não possui isolamento térmico.

Para a caracterização das pontes térmicas lineares exteriores (PTL), contabilizaram-se os tipos de ligação entre elementos e os respetivos coeficientes de transmissão térmica linear (ψ) em cada fração habitacional, bem como os respetivos valores de referência (ψ_{ref}), como indicado na Tabela 4.5, cujos valores foram retirados da Tabela 34 do Manual SCE [53].

Tabela 4.5: Tipos de ligação entre elementos e coeficiente de transmissão térmica linear das respetivas frações habitacionais

Tipo de ligação entre elementos	Comprimento B (m)	Piso térreo, ψ [W/(m.K)]	Piso intermédio, ψ [W/(m.K)]	Último piso, ψ [W/(m.K)]	ψ_{ref} [W/(m.K)]
Duas paredes verticais em ângulo saliente	12,50	0,50	0,50	0,50	0,40
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	28,89	0,70	-	-	0,50
Fachada com pavimento intermédio	28,89	0,70	0,70	0,70	0,50
Fachada com cobertura	28,89	-	-	0,70	0,50
Zona de caixa de estores	6,00	0,30	0,30	0,30	0,20
Fachada com caixilharia	26,60	0,30	0,30	0,30	0,20

4.5 Envolvente envidraçada

Em cada fração de habitação, existem cinco vãos envidraçados simples de correr de vidro duplo com caixilharia metálica sem corte térmico e sem quadrículas interiores, cujo coeficiente de transmissão térmica do vão (U_{Wi}) é igual a 3,70 W/(m².K), valor retirado do Anexo III do ITE50 [85].

Uma vez que não existem informações acerca da classe de permeabilidade ao ar através da caixilharia, considerou-se uma classe de permeabilidade 2, tendo em conta que as janelas contêm vedantes sob compressão em todo o seu perímetro. As caixas de estore apresentam uma permeabilidade ao ar baixa. Os vãos envidraçados apresentam um fator solar global (g_{tot}) de 0,75 e uma fração envidraçada (F_g) igual a 0,70. Os dispositivos de proteção exteriores existentes nos vãos são persianas de réguas plásticas.

Relativamente às obstruções solares, considerou-se, para o cálculo do fator de obstrução solar (F_s), a pala horizontal (1 m) sobrejacente aos vãos envidraçados dos quartos 1 e 2 e da instalação sanitária, que provoca o efeito de sombreamento nesses vãos das frações de habitação do piso térreo, piso intermédio e último piso com ângulos (α) de 6°, 9° e 44°, respetivamente; e a obstrução do horizonte causada pelo obstáculo/edifício com uma distância D_{obs} de 28,5 metros, cujos ângulos medidos desde o centro do vão envidraçado da cozinha e quarto 2 ao ponto superior do obstáculo (αh) para as frações do piso térreo, piso intermédio e último piso são, respetivamente, 18°, 13° e 2°.

Na Tabela 4.6 são apresentadas as dimensões dos vãos envidraçados existentes em cada divisão da fração bem como a sua orientação. Tendo em conta que a fração envidraçada representa a razão entre a área transparente (A_g) e a área total do vão envidraçado (A_w), então a área envidraçada será 70% da

área do vão envidraçado total. A área do caixilho (A_f) resulta da diferença entre a área do vão envidraçado total e da área transparente.

Tabela 4.6: Orientação e dimensões dos vãos envidraçados

Vão envidraçado	Orientação	Comprimento (m)	Altura (m)	Área do vão, A_w (m ²)	Área envidraçada, A_g (m ²)	Área do caixilho, A_f (m ²)
Sala comum	Noroeste	1,20	2,00	2,40	1,68	0,72
Quarto 1	Noroeste	1,20	1,10	1,32	0,92	0,40
Quarto 2	Sudeste	1,20	1,10	1,32	0,92	0,40
Instalação sanitária	Noroeste	0,60	1,10	0,66	0,46	0,20
Cozinha	Sudeste	1,80	2,00	3,60	2,52	1,08

O coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado de referência ($U_{W_{ref}}$) indicado para a zona climática I1 corresponde a 2,80 W/(m².K), conforme apresentado na Tabela 2.12 do presente documento.

4.6 Ventilação/Infiltração

A fração de habitação não dispõe de sistemas de ventilação mecânica nem de dispositivos de admissão de ar nas fachadas, sendo que a ventilação se processa exclusivamente de forma natural através da abertura das janelas, porém, não é considerada no método de cálculo sazonal. A taxa de renovação de ar horária estimada na fração ($R_{ph,estimada}$) pela folha de cálculo Itecons é de 0,12 h⁻¹. Este valor deve-se à infiltração de ar que ocorre nas caixas de estore, caixilhos e na envolvente. Uma vez que $R_{ph,estimada}$ é inferior ao valor de referência estipulado para a estação de aquecimento ($R_{ph,i}$) e arrefecimento ($R_{ph,v}$), cujos valores são, respetivamente, 0,50 e 0,60 h⁻¹, para efeitos de cálculo, consideraram-se esses valores mínimos para a determinação das perdas de calor por transmissão resultantes da renovação do ar na estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) e arrefecimento ($Q_{ve,v}$).

4.7 Sistemas técnicos

Para efeitos de preparação de águas quentes sanitárias, a fração dispõe de um esquentador a gás natural da marca Vulcano, que se encontra instalado na cozinha e está em funcionamento durante todo o ano. É um sistema antigo, cuja instalação foi feita até 1995, o que traduz numa eficiência do equipamento (η_a) de 0,60, aferida pela folha de cálculo Itecons. O valor de referência proposto no Manual SCE para o mesmo equipamento é de 0,89 ($\eta_{a,ref}$). O consumo médio diário é de 40 litros/ocupante, sendo que coabitam três ocupantes em cada fração (T2).

A fração não dispõe de nenhum equipamento para aquecimento e arrefecimento ambiente. Não se verificam igualmente sistemas que recorram a fontes de energia renovável destinada a autoconsumo nos usos regulados.

4.8 Descrição das simulações

4.8.1 Estado inicial

O *Estado inicial* representa a simulação do balanço energético da fração de habitação na situação original, isto é, para a habitação antes de serem aplicadas quaisquer medidas de melhoria. Nesta situação, foram implementadas as condições relativas à envolvente opaca, envidraçada, ventilação/infiltração e sistemas técnicos que estão mencionados nos subcapítulos 4.4 a 4.7.

Dado que a fração não dispõe de nenhum equipamento para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades de energia associadas a esses usos foram determinadas com recurso a um sistema por defeito, como indicado no Manual SCE. O sistema por defeito, que tem como fonte de energia eletricidade, tem uma eficiência nominal do equipamento igual a 1 e 3 para a estação de aquecimento (η_i) e arrefecimento (η_v), respetivamente.

O fator de conversão para consumo de energia primária para o sistema por defeito (eletricidade) é de 2,5 kWh_{EP}/kWh e de 1 kWh_{EP}/kWh, para o esquentador (gás natural).

4.8.2 SCE 2020

O estado *SCE 2020* corresponde à habitação na situação de referência, no qual a fração foi simulada com condições de referência relativas à envolvente opaca, envidraçada, ventilação e sistemas técnicos, conforme previstas na secção 2.7.2 e no Manual SCE.

Nesta situação, implementou-se um sistema *split* (ar-ar) (idade ≤ 1 ano) para aquecimento e arrefecimento ambiente com uma eficiência sazonal de referência de 3,40 ($\eta_{i_{ref}}$) e 3,00 ($\eta_{v_{ref}}$), respetivamente. Uma vez o sistema tem como fonte de energia a eletricidade, o fator de conversão (F_{pu}) é de 2,5 kWh_{EP}/kWh. Comparativamente com o *Estado inicial*, o sistema para preparação de AQS (esquentador) apresenta agora uma eficiência nominal de referência ($\eta_{a_{ref}}$) de 0,89. Considerou-se ainda que não há alteração da inércia térmica da fração o que resulta da adoção de soluções para a envolvente com isolamento térmico colocado pelo exterior e, no caso da cobertura, sobre a laje.

Esta situação representa a primeira medida de melhoria face ao *Estado inicial* da fração associada aos vãos envidraçados, na qual é feita a substituição do vão envidraçado existente (3,70 W/(m².K)) por outro com melhor desempenho energético (valor de referência 2,80 W/(m².K)).

4.8.3 PH referência

No estado *PH referência* consideraram-se as mesmas condições de referência usadas para o estado *SCE 2020*, com exceção do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, cujo valor a implementar é o valor de referência proposto pela *Passive House* ($U_{W_{PH,ref}}$), conforme a Tabela 2.8, para um vão envidraçado vertical e para o clima ameno (1,25 W/(m².K)), e ainda no âmbito das PTL para as ligações da zona de caixa de estores e fachada com caixilharia, cujo valor ψ_{PH} a considerar é de 0,01 W/(m.K) para uma conceção sem pontes térmicas lineares (subcapítulo 2.6.3). Não existem alterações nos restantes valores das pontes térmicas lineares.

A substituição do vão envidraçado existente (2,80 W/m².K)) por outro com melhor desempenho energético (1,25 W/m².K)) representa uma medida de melhoria na habitação. Esta situação corresponde, assim, à segunda medida de melhoria face ao *Estado inicial* da fração.

4.8.4 PH calculado

O estado *PH calculado* é semelhante ao estado *PH referência*, diferenciando-se apenas no coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, cujo valor a implementar foi o calculado através da ferramenta de apoio descrita no subcapítulo 3.1. Para a determinação do coeficiente $U_{W,instalado}$ dos vãos envidraçados das frações, consideraram-se os parâmetros dimensionais indicados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Parâmetros dimensionais considerados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados

Vão envidraçado	A_W (m ²)	A_g (m ²)	A_f (m ²)	$l_{instalação}$ (m)	l_g (m)
Sala comum	2,40	1,68	0,72	6,40	4,48
Quarto 1	1,32	0,92	0,40	4,60	3,22
Quarto 2	1,32	0,92	0,40	4,60	3,22
Instalação sanitária	0,66	0,46	0,20	3,40	2,38
Cozinha	3,60	2,52	1,08	7,60	5,32

A escolha dos componentes que constituem o vão envidraçado, nomeadamente, a área envidraçada, caixilho e perfil intercalar ou espaçador foi feita tendo em conta a base de dados disponível na ferramenta com soluções disponíveis no mercado. Assumiu-se que as janelas tinham a mesma solução para cada um dos componentes, o que resulta num valor $U_{W,instalado}$ que é variável para cada janela apenas pelo facto de terem diferentes dimensões, como demonstrado na tabela anterior. As soluções consideradas para cada componente estão indicadas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Configuração e soluções de mercado escolhidas para os vãos envidraçados

Vão envidraçado	Configuração	Solução vidro	Solução caixilho	Solução perfil intercalar ou espaçador
Sala comum	Duas folhas sem quadrícula	Saint Gobain: SGG CLIMATOP ECLAZ & ECLAZ II 18mm, vidro triplo ($U_g = 0,57 W/(m^2 \cdot K)$)	Caixilho de alumínio GALISUR: AR80 PASSIVHAUS ($U_f = 0,99 W/(m^2 \cdot K)$)	Perfil espaçador de aço inoxidável CHROMATECH plus ($\Psi_g = 0,069 W/(m \cdot K)$),
Quarto 1	Duas folhas sem quadrícula			
Quarto 2	Duas folhas sem quadrícula			
Instalação sanitária	Uma folha sem quadrícula			
Cozinha	Quatro folhas sem quadrícula			

Relativamente à instalação do vão, considerou-se que o coeficiente de transmissão térmica linear da ligação dos componentes de construção adjacentes ($\Psi_{instalação}$) era de 0,01 W/(m.K), o que traduz numa instalação ótima do vão.

Tendo em conta que as soluções para o vidro, caixilho e perfil espaçador são idênticas para os cinco vãos envidraçados, foi necessário calcular a média ponderada dos coeficientes $U_{W,instalado}$ para a posterior implementação na folha de cálculo Itecons. A média ponderada foi calculada tendo por base as diferentes áreas dos vãos envidraçados, como indicado na Equação (4.1). O resultado a implementar na folha de cálculo Itecons encontra-se na Tabela 4.9.

$$U_{W_{PH,calc}} = \frac{\sum U_{W_{PH}} \times A_W}{\sum A_W} [W/(m^2.K)] \quad (4.1)$$

Tabela 4.9: Resultados obtidos para os coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados e respetivo valor médio ponderado a implementar na folha de cálculo Itecons

Vão envidraçado	$U_{W,instalado} [W/(m^2.K)]$	$U_{W_{PH,calc}} [W/(m^2.K)]$
Sala comum	0,851	0,863
Quarto 1	0,900	
Quarto 2	0,900	
Instalação sanitária	0,998	
Cozinha	0,819	

Esta situação representa a terceira medida de melhoria face ao *Estado inicial* da fração, associada aos vãos envidraçados, na qual é feita a substituição do vão envidraçado existente (1,25 W/(m².K)) por outro com melhor desempenho energético (0,86 W/(m².K)).

Os estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado* representam assim medidas de melhoria efetuadas na habitação ao nível da envolvente opaca e envidraçada, que serão posteriormente comparados e analisados face ao *Estado inicial* da habitação. Assim, é possível perceber de que modo é que a alteração dos parâmetros térmicos, principalmente do valor U_W das janelas, afeta o desempenho energético final da habitação.

Na Tabela 4.10 encontra-se um quadro síntese dos parâmetros em estudo das quatro situações a que cada fração habitacional é submetida. Os valores considerados para cada situação a implementar na folha Itecons estão indicados na Tabela 4.11.

Tabela 4.10: Informações gerais e parâmetros avaliados para cada estado da fração de habitação

Estado da fração de habitação	Parâmetros em estudo
Estado inicial	- Envolvente opaca ($U_{parede_{ext}}, U_{parede_{int}}, U_{porta}, U_{pav_{int}}, U_{cob_{int}}$) - PTL ($\psi$) - Envolvente envidraçada (U_{W_i}) - Sistemas técnicos (η_a, η_i, η_v)
SCE 2020 (1ª medida de melhoria)	- Envolvente opaca ($U_{opacos_{ref}}$) - PTL (ψ_{ref}) - Envolvente envidraçada ($U_{W_{ref}}$) - Sistemas técnicos ($\eta_{a_{ref}}, \eta_{i_{ref}}, \eta_{v_{ref}}$)
PH referência (2ª medida de melhoria)	- Envolvente opaca ($U_{opacos_{ref}}$) - PTL (ψ_{ref}, ψ_{PH}) - Envolvente envidraçada ($U_{W_{PH,ref}}$) - Sistemas técnicos ($\eta_{a_{ref}}, \eta_{i_{ref}}, \eta_{v_{ref}}$)

PH calculado (3ª medida de melhoria)	• Envolvente opaca ($U_{opacos_{ref}}$) • PTL (ψ_{ref}, ψ_{PH}) • Envolvente envidraçada ($U_{W_{PH,calc}}$) • Sistemas técnicos ($\eta_{a_{ref}}, \eta_{i_{ref}}, \eta_{v_{ref}}$)
--	--

Tabela 4.11: Quadro síntese com os valores implementados na folha Itecons para cada estado da habitação

Componente	Parâmetro	Unidade	Estado inicial	SCE 2020	PH Referência	PH Calculado
Envolvente opaca						
Paredes exteriores	$U_{parede,ext}$		1,30	0,50	0,50	0,50
Paredes interiores	$U_{parede,int}$		1,30	0,80	0,80	0,80
Porta	U_{porta}	$W/(m^2 \cdot K)$	2,70	0,80	0,80	0,80
Pavimento interior	$U_{pav,int}$		3,10	0,60	0,60	0,60
Cobertura interior	$U_{cob,int}$		2,60	0,40	0,40	0,40
Envolvente envidraçada						
Vãos envidraçados exteriores	U_W	$W/(m^2 \cdot K)$	3,70	2,80	1,25	0,86
Pontes térmicas lineares exteriores						
Duas paredes verticais em ângulo saliente	ψ		0,50	0,40	0,40	0,40
Fachada com pavimento sobre o exterior	ψ		0,70	0,50	0,50	0,50
Fachada com pavimento intermédio	ψ	$W/(m \cdot K)$	0,70	0,50	0,50	0,50
Fachada com cobertura	ψ		0,70	0,50	0,50	0,50
Zona de caixa de estores	ψ		0,30	0,20	0,01	0,01
Fachada com caixilharia	ψ		0,30	0,20	0,01	0,01
Sistemas técnicos						
Esquentador (AQS) Split (ar-ar)	η_a	-	0,60	0,89	0,89	0,89
(Aquecimento/Arrefecimento)	η_i/η_v	-	1,0/3,0	3,4/3,0	3,4/3,0	3,4/3,0

5 Resultados e discussão

Após a caracterização da envolvente e dos sistemas técnicos das frações de habitação em estudo para cada uma das situações, procedeu-se à simulação de cada estado através da folha de cálculo Itecons e obtiveram-se os resultados para os indicadores energéticos, nomeadamente, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) ambiente, com recurso ao método sazonal, as necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de AQS (Q_a) e necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) para os diferentes usos na fração de habitação, tanto para o edifício previsto como para o edifício de referência (N_i , N_v , N_t), e a respetiva classe de eficiência energética. Neste capítulo, procede-se assim à análise e comparação dos resultados obtidos pela folha de cálculo Itecons.

5.1 Fração de habitação - Piso térreo

Os resultados obtidos da folha Itecons para a fração de habitação do piso térreo quando submetida às quatro situações em estudo (*Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*) encontram-se na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultados obtidos para a fração de habitação - Piso térreo

Piso térreo	Unidade	<i>Estado inicial</i>	<i>SCE 2020</i>	<i>PH referência</i>	<i>PH calculado</i>
N_{ic}	kWh/(m ² .ano)	111,0	22,6	13,6	12,2
N_i				51,6	
N_{vc}		9,5	23,8	27,9	28,6
N_v				11,2	
Q_a	kWh/ano			1783	
E_{ren}		0	1420	1259	1238
N_{tc}	kWh _{EP} /(m ² .ano)	351,4	86,3	83,1	82,7
N_t		183,1	92,1	92,1	92,1
N_{tc}/N_t		1,92	0,94	0,90	0,90
Classe energética		D	B-	B-	B-

A Figura 5.1 e Figura 5.2 representam os gráficos das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) e arrefecimento (N_{vc}) ambiente da fração de habitação do piso térreo nas diferentes situações em estudo. São indicados igualmente os valores relativos às necessidades nominais anuais de energia útil para a habitação de referência, na estação de aquecimento (N_i) e de arrefecimento (N_v).

Como se pode verificar pela Figura 5.1, ocorre uma diminuição das necessidades anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) de 80%, 88% e 89%, respetivamente, face ao *Estado inicial* da habitação, sendo que o consumo é mais baixo quando a fração é submetida ao estado *PH calculado* comparativamente com as outras duas situações, *SCE 2020* e *PH referência*. Com exceção do *Estado inicial*, as restantes situações apresentam anualmente um consumo de energia útil para aquecimento inferior ao valor simulado (N_i) para a habitação de referência (51,6 kWh/(m².ano)), verificando-se desta forma que satisfazem o limite mínimo ou de referência estimado para as necessidades de energia útil para aquecimento.

A diminuição das necessidades N_{ic} que se verifica nas três medidas de melhoria deve-se ao facto de haver sucessivamente menores perdas térmicas por transmissão ($Q_{tr,i}$) para o exterior (ver Tabela 5.2),

o que se traduz num consumo de energia para aquecimento inferior para compensar essas perdas de calor, de modo a manter a temperatura $\theta_{ref,i}$ de 18°C ($\theta_{ref,i} = 18^\circ\text{C} > \theta_{ext,i} = 10,7^\circ\text{C}$).

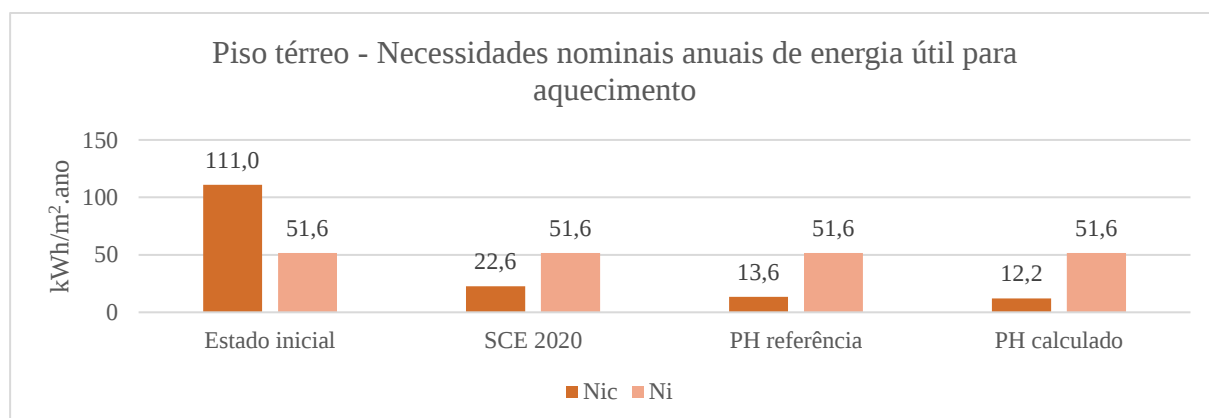


Figura 5.1: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo

Comparativamente com o *Estado inicial*, as necessidades anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) nos três estados aumentaram em 60%, 66% e 67%, respetivamente. Desta forma, o consumo de energia anual para arrefecimento, com exceção do *Estado inicial*, ultrapassa o valor calculado para a habitação de referência (11,2 kWh/(m².ano)).

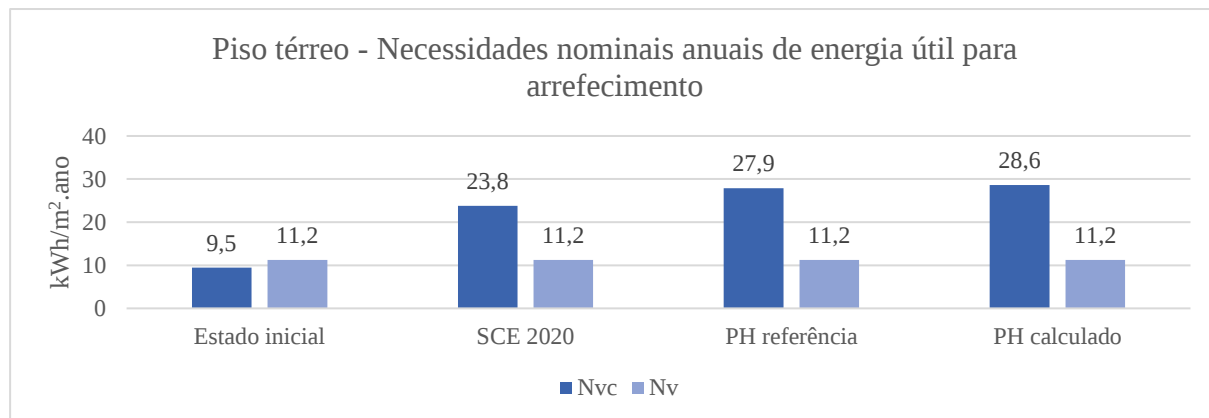


Figura 5.2: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo

O aumento verificado para as necessidades anuais de energia útil para arrefecimento pode ser explicado pelo facto de haver menores perdas de calor por transmissão ($Q_{tr,v}$) (Tabela 5.2) como resultado de vãos envidraçados com elevado desempenho energético (menor U_w), o que traduz numa maior necessidade para arrefecer (maior N_{vc}) e manter a habitação à temperatura $\theta_{ref,v}$ de 25°C ($\theta_{ref,v} = 25^\circ\text{C} > \theta_{ext,v} = 21,5^\circ\text{C}$). Acresce ainda o facto de o método de cálculo não considerar a opção de ventilação adicional na estação de arrefecimento, seja de forma mecânica ou controlada pela abertura dos vãos envidraçados, aumentando desta forma as necessidades N_{vc} para manter a temperatura interior de 25°C.

A energia necessária para compensar as perdas de calor resultantes da renovação do ar interior através das infiltrações mantém-se igual para as quatro situações com o valor de 11,3 kWh/(m².ano) para a estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) e de 5,2 kWh/(m².ano) para a estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$).

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) são de 54,8 kWh/(m².ano) nos quatro estados, que resultam do somatório dos ganhos internos brutos ($Q_{int,i}$), que correspondem a 15,4 kWh/(m².ano), e dos ganhos solares brutos ($Q_{sol,i}$), que correspondem a 39,4 kWh/(m².ano).

Para o cálculo das necessidades N_{ic} , contabilizam-se apenas os ganhos térmicos úteis $Q_{gu,i}$ (Equação (3.2)), que variam em função do parâmetro γ_i e do fator de utilização dos ganhos térmicos η_i determinados de acordo com as Equações (B.17) e (B.18) presentes na secção B.1.1.3 do Anexo B. Tendo em conta que $Q_{tr,i}$ diminui e que os parâmetros $Q_{g,i}$ e $Q_{ve,i}$ se mantêm na estação de aquecimento, o parâmetro γ_i tende a aumentar. Desta forma, o fator η_i tende a diminuir ao longo de cada estado, resultando numa diminuição dos ganhos térmicos úteis $Q_{gu,i}$ face ao *Estado inicial* (Tabela 5.2). Para a habitação de referência, considera-se o fator de utilização dos ganhos térmicos de referência ($\eta_{i_{ref}}$) que corresponde a 0,60.

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) correspondem a 59,4 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 51,2 kWh/(m².ano) nos restantes estados da fração. Os ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ correspondem a 11,7 kWh/(m².ano) e os ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ correspondem a 47,7 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 39,5 kWh/(m².ano) nos restantes estados.

Para o cálculo das necessidades N_{vc} , é contabilizada a fração não útil dos ganhos térmicos brutos (Equação (3.4)), que varia em função do parâmetro γ_v e do fator de utilização dos ganhos térmicos η_v determinados de acordo com as Equações (B.35) e (B.36) presentes na secção B.2.1.3 do Anexo B. A fração não útil dos ganhos térmicos brutos tende a aumentar ao longo de cada estado da fração, como verificado na Tabela 5.2. Uma vez que a diferença de temperatura $\Delta\theta$ é superior a um ($\Delta\theta=3,5^\circ\text{C}$) tem-se um fator de utilização dos ganhos térmicos de referência ($\eta_{v_{ref}}$) igual a 0,79, de acordo com a Equação (B.39) da secção B.2.2 do Anexo B.

É importante notar que no método sazonal, os ganhos solares resultantes da envolvente envidraçada são contabilizados nas duas estações, porém os ganhos solares resultantes da envolvente opaca são contabilizados unicamente na estação de arrefecimento. Uma vez que o coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores ($U_{parede,ext}$) foi alterado para o valor de referência nos estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, irá influenciar o valor final dos ganhos solares brutos na estação de arrefecimento (39,5 kWh/(m².ano)) nesses estados face à situação inicial (47,7 kWh/(m².ano)).

Tabela 5.2: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão, ventilação e ganhos internos e solares brutos, ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no piso térreo

Piso térreo	<i>Estado inicial</i>	<i>SCE 2020</i>	<i>PH referência</i>	<i>PH calculado</i>
Estação de aquecimento (kWh/m².ano)				
$Q_{tr,i}$	154,2	60,6	48,4	46,3
$Q_{ve,i}$			11,3	
$Q_{int,i}$			15,4	
$Q_{sol,i}$			39,4	
$Q_{g,i}$			54,8	
η_i	0,99	0,90	0,84	0,83
$Q_{gu,i}$	54,4	49,3	46,1	45,3

Estação de arrefecimento ($kWh/m^2 \cdot ano$)				
$Q_{tr,v}$	59,5	23,4	18,7	17,9
$Q_{ve,v}$			5,2	
$Q_{int,v}$			11,7	
$Q_{sol,v}$	47,7	39,5	39,5	39,5
$Q_{g,v}$	59,4	51,2	51,2	51,2
$(1 - \eta_v)$	0,16	0,46	0,54	0,56
$(1 - \eta_v) * Q_{g,v}$	9,5	23,6	27,7	28,7

O consumo anual de energia útil para preparação de AQS (Q_a) toma o valor fixo de 1 783 kWh/ano (39,8 kWh/($m^2 \cdot ano$)) em todos os estados, assumindo um consumo médio diário de referência de 40 litros por ocupante. O consumo anual de energia renovável (E_{ren}) resulta do aproveitamento do ar exterior ambiente pelo sistema *split* (ar-ar) para aquecimento e arrefecimento ambiente, sendo posteriormente subtraído no cálculo das necessidades anuais de energia primária. Este valor não é contabilizado para o edifício de referência.

Para as necessidades nominais anuais de energia primária foi necessário converter o consumo anual de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS em consumo de energia final através da eficiência nominal dos equipamentos, η_i , η_v , η_a , respetivamente, e este por sua vez convertido em consumo de energia primária pelo fator de conversão (F_{pu}), que toma o valor de 2,5 kWh_{EP}/kWh para o sistema por defeito, no caso do *Estado inicial*, e para o sistema *split ar-ar* (a eletricidade), nos restantes casos, e é de 1 kWh_{EP}/kWh para o esquentador (a gás natural).

A Figura 5.3 representa graficamente as necessidades anuais de energia primária nos diferentes estados da habitação (N_{tc}) e o correspondente para a habitação de referência (N_t). Comparativamente com o *Estado inicial*, verificou-se um decréscimo do consumo anual de energia primária previsto de 75% para o *SCE 2020*, e de 76%, para os estados *PH referência* e *PH calculado*. Observou-se ainda que esse consumo era inferior ao simulado para o edifício de referência (92,1 kWh_{EP}/($m^2 \cdot ano$)), o que se traduz numa razão N_{tc}/N_t inferior a um e, consequentemente, numa classe energética mais elevada, que neste caso é comum às três situações *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*: B. No *Estado inicial*, verificou-se que essa razão era de 1,92, resultando numa classe energética D.

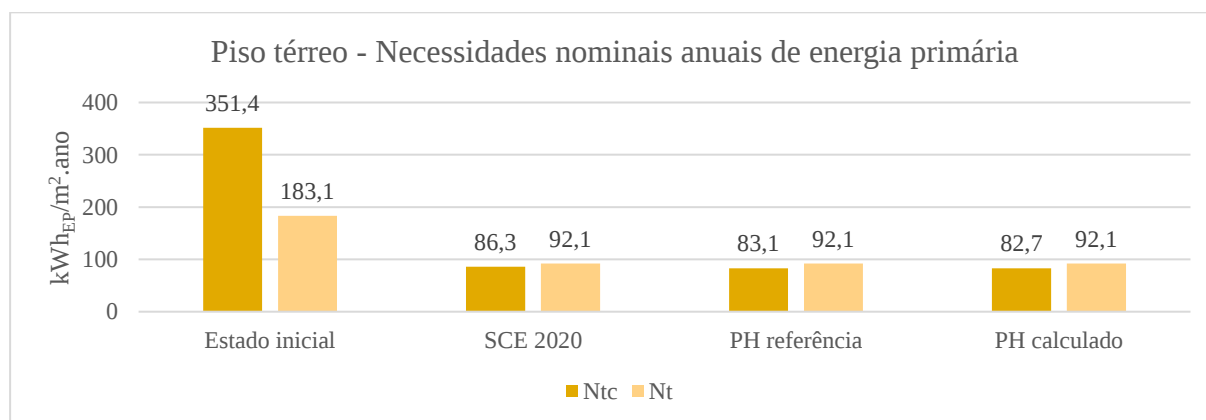


Figura 5.3: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do piso térreo.

5.2 Fração de habitação – Piso intermédio

Os resultados obtidos da folha Itecons para a fração de habitação do piso intermédio quando submetida às quatro situações em estudo (*Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*) encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Resultados obtidos para a fração de habitação - Piso intermédio

Piso intermédio	Unidade	<i>Estado inicial</i>	<i>SCE 2020</i>	<i>PH referência</i>	<i>PH calculado</i>
N_{ic}	kWh/(m ² .ano)	55,6	15,9	8,3	7,2
N_i		43,6	43,6	43,6	43,6
N_{vc}		20,0	26,4	30,7	31,5
N_v		11,2	11,2	11,2	11,2
Q_a	kWh/ano	1783			
E_{ren}		0	1287	1176	1165
N_{tc}	kWh _{EP} /(m ² .ano)	229,5	83,5	81,5	81,4
N_t		163,2	86,3	86,3	86,3
N_{tc}/N_t		1,41	0,97	0,95	0,94
Classe energética		C	B-	B-	B-

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento verificadas para cada situação na fração de habitação prevista (N_{ic} e N_{vc}) e de referência (N_i e N_v) estão representadas graficamente na Figura 5.4 e na Figura 5.5.

Comparativamente com o *Estado inicial* da habitação, verifica-se que, de acordo com a Figura 5.4, ocorre uma diminuição das necessidades N_{ic} em 71%, 85% e 87% para os estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, respetivamente, sendo que o consumo mais baixo ocorre para este último. Com exceção do *Estado inicial*, as restantes situações apresentam anualmente um consumo de energia útil para aquecimento inferior ao valor simulado para a habitação de referência N_i (43,6 kWh/(m².ano)).

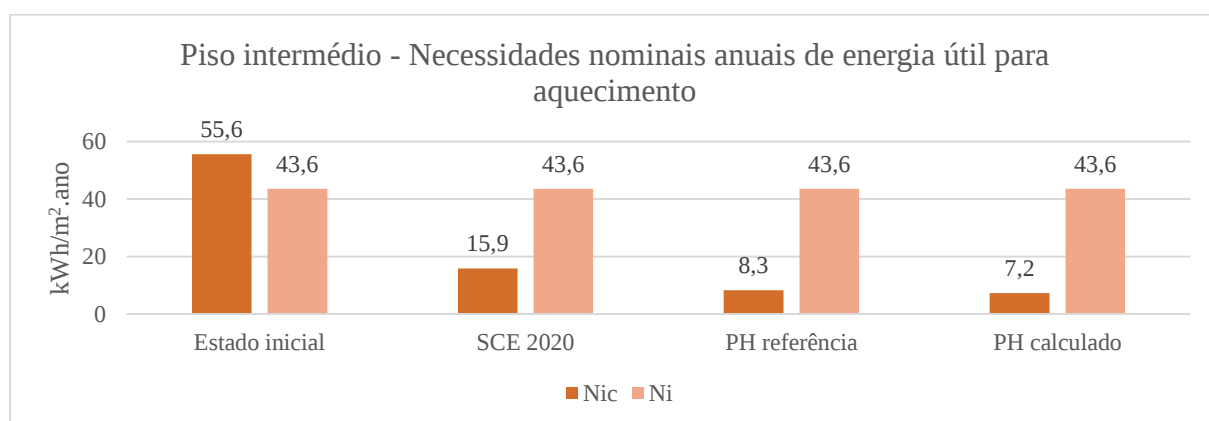


Figura 5.4: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio

De acordo com a Figura 5.5, ocorre um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) nas diferentes situações face ao *Estado inicial* de 24%, 35% e 37%, respetivamente. O consumo de energia N_{vc} em cada estado ultrapassa o valor calculado N_v para a habitação de referência (11,2 kWh/(m².ano)).

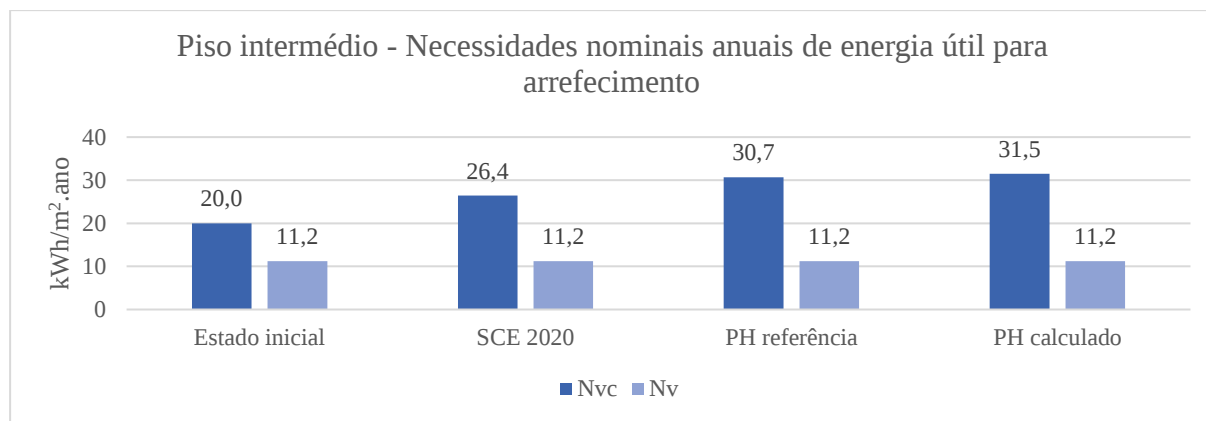


Figura 5.5: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio

Tal como verificado na fração do piso térreo, a diminuição das necessidades N_{ic} deve-se ao facto de haver sucessivamente menores perdas térmicas por transmissão ($Q_{tr,i}$) para o exterior (ver Tabela 5.4), traduzindo-se num consumo de energia para aquecimento inferior para compensar essas perdas de calor, de modo a manter a temperatura $\theta_{ref,i}$ de 18°C. Na estação de arrefecimento, verifica-se o aumento das necessidades N_{vc} como resultado da diminuição de $Q_{tr,v}$ devido ao elevado desempenho energético (menor U_w) dos vãos. Acresce ainda o facto de não haver ventilação adicional mecânica ou manual pela abertura dos vãos, traduzindo-se numa maior necessidade para arrefecer (maior N_{vc}) e manter a habitação à temperatura $\theta_{ref,v}$ de 25°C.

A energia necessária para compensar as perdas de calor resultantes da renovação do ar interior mantém-se igual para as quatro situações com o valor de 11,3 kWh/(m².ano) para a estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) e de 5,2 kWh/(m².ano) para a estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$).

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) são de 56,1 kWh/(m².ano) nos quatro estados, que resultam do somatório dos ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ (15,4 kWh/(m².ano)) e dos ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ (40,7 kWh/(m².ano)). O fator de utilização dos ganhos térmicos (η_i) tende a diminuir ao longo de cada estado, resultando numa diminuição dos ganhos térmicos úteis $Q_{gu,i}$ face ao *Estado inicial* (Tabela 5.4).

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) correspondem a 59,4 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 51,2 kWh/(m².ano) nos restantes estados da fração. Os ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ correspondem a 11,7 kWh/(m².ano) e os ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ a 47,7 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 39,5 kWh/(m².ano) nos restantes estados. De acordo com a Tabela 5.4, a fração não útil dos ganhos térmicos brutos tende a aumentar ao longo de cada estado da fração, resultando num aumento das necessidades N_{vc} .

Tabela 5.4: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão e ventilação e ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no piso intermédio

Piso intermédio	Estado inicial	SCE 2020	PH referência	PH calculado
Estação de aquecimento ($kWh/m^2 \cdot ano$)				
$Q_{tr,i}$	98,8	52,7	40,5	38,3
$Q_{ve,i}$			11,3	
$Q_{int,i}$			15,4	
$Q_{sol,i}$			40,7	
$Q_{g,i}$			56,1	
η_i	0,97	0,86	0,77	0,75
$Q_{gu,i}$	54,4	48,1	43,4	42,3
Estação de arrefecimento ($kWh/m^2 \cdot ano$)				
$Q_{tr,v}$	38,1	20,3	15,6	14,8
$Q_{ve,v}$			5,2	
$Q_{int,v}$			11,7	
$Q_{sol,v}$	47,7	39,5	39,5	39,5
$Q_{g,v}$	59,4	51,2	51,2	51,2
$(1 - \eta_v)$	0,34	0,52	0,60	0,61
$(1 - \eta_v) * Q_{g,v}$	20,0	26,4	30,7	31,5

A Figura 5.6 representa graficamente as necessidades anuais de energia primária nos diferentes estados da habitação (N_{tc}) e o correspondente para a habitação de referência (N_t). Comparativamente com o *Estado inicial*, verificou-se um decréscimo do consumo anual de energia primária previsto de 64% para os estados *SCE 2020* e *PH referência* e de 65% para o *PH calculado*. Observou-se ainda que esse consumo era inferior ao simulado para o edifício de referência ($86,3 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot ano)$), o que se traduz numa razão N_{tc}/N_t inferior a um e, consequentemente, numa classe energética mais elevada, que neste caso é equivalente às três situações *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*: B-. No *Estado inicial*, verificou-se que essa razão era de 1,41, resultando numa classe energética C.

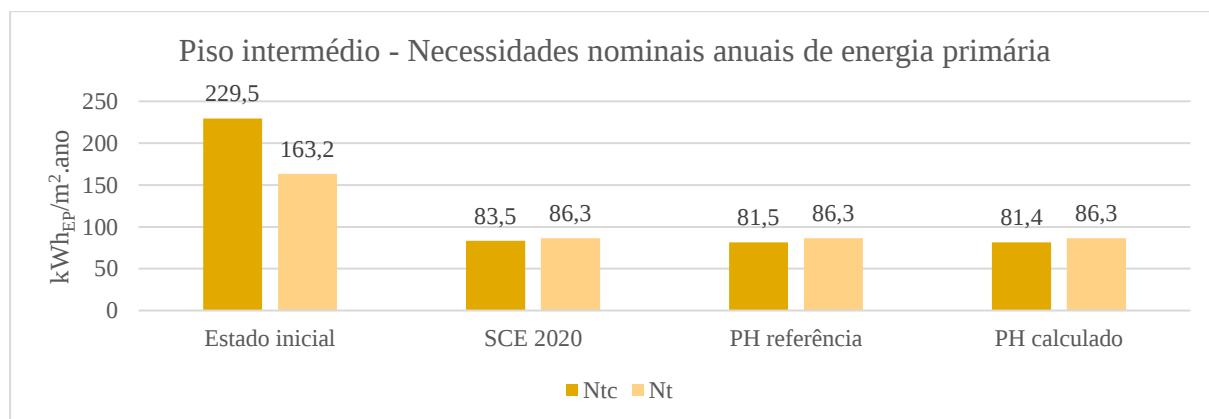


Figura 5.6: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do piso intermédio

5.3 Fração de habitação – Último piso

Os resultados obtidos da folha Itecons para a fração de habitação do último piso quando submetida às quatro situações em estudo (*Estado inicial*, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*) encontram-se na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Resultados obtidos para a fração de habitação - Último piso

Último piso	Unidade	<i>Estado inicial</i>	<i>SCE 2020</i>	<i>PH referência</i>	<i>PH calculado</i>
N_{ic}	kWh/(m ² .ano)	138,5	23,5	14,4	13,0
N_i		53,2	53,2	53,2	53,2
N_{vc}		18,0	24,5	28,6	29,4
N_v		11,2	11,2	11,2	11,2
Q_a	kWh/ano	1783			
E_{ren}		-	1471	1306	1284
N_{tc}	kWh _{EP} /(m ² .ano)	435,2	87,5	84,3	83,9
N_t		187,1	93,3	93,3	93,3
N_{tc}/N_t		2,33	0,94	0,90	0,90
Classe energética		E	B-	B-	B-

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento observadas para cada situação na fração de habitação prevista (N_{ic} e N_{vc}) e de referência (N_i e N_v) estão representadas graficamente na Figura 5.7 e na Figura 5.8.

Comparativamente com o *Estado inicial* da habitação, verifica-se que, de acordo com a Figura 5.7, ocorre uma diminuição das necessidades N_{ic} em 83%, 90% e 91% para os estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, respetivamente, sendo este último aquele que consome menos energia para aquecimento. Com exceção do *Estado inicial*, as restantes situações apresentam anualmente um consumo de energia útil para aquecimento inferior ao valor simulado para a habitação de referência (N_i) (53,2 kWh/(m².ano)).

Comparativamente com as frações dos pisos térreo e intermédio, o consumo anual de energia útil para aquecimento N_{ic} verificou-se superior para esta fração de habitação.

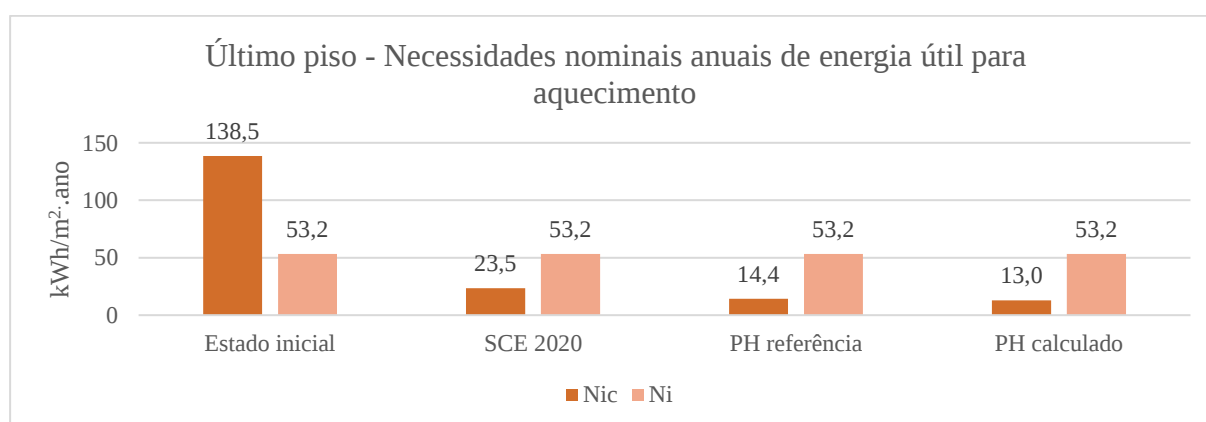


Figura 5.7: Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento para a fração de habitação prevista e de referência do último piso

Observando a Figura 5.8, verifica-se que ocorre um aumento das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) para as três medidas de melhoria em 26%, 37% e 39%, respetivamente, face ao *Estado inicial*. O consumo de energia N_{vc} em cada estado ultrapassa o valor calculado N_v para a habitação de referência (11,2 kWh/(m².ano)).

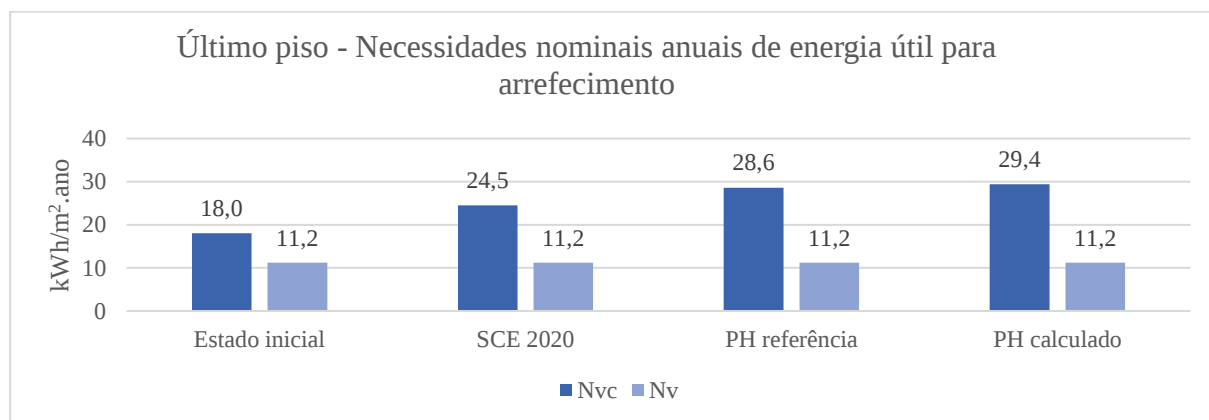


Figura 5.8: Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento para a fração de habitação prevista e de referência do último piso

Como verificado igualmente para o piso térreo e para o piso intermédio, a diminuição do consumo anual de energia útil para aquecimento e o aumento das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento verificado para as três situações face ao *Estado inicial* é explicada pela diminuição da transferência de calor por transmissão nas estações de aquecimento ($Q_{tr,i}$) e arrefecimento ($Q_{tr,v}$) (ver Tabela 5.6) como resultado da alteração do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado para valores sucessivamente mais baixos, resultando em janelas de maior desempenho energético. Na estação de arrefecimento acresce ainda o facto de não haver ventilação adicional mecânica ou manual pela abertura dos vãos.

A energia necessária para compensar as perdas de calor resultantes da renovação do ar interior mantém-se igual para as quatro situações com o valor de 11,3 kWh/(m².ano) para a estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) e de 5,2 kWh/(m².ano) para a estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$).

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) são de 55,4 kWh/(m².ano) nos quatro estados, que resultam do somatório dos ganhos internos brutos $Q_{int,i}$, (15,4 kWh/(m².ano)), e dos ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$, (40,0 kWh/(m².ano)). O fator de utilização dos ganhos térmicos (η_i) tende a diminuir ao longo de cada estado, resultando numa diminuição dos ganhos térmicos úteis $Q_{gu,i}$ face ao *Estado inicial* (Tabela 5.6).

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) correspondem a 81,2 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 52,6 kWh/(m².ano) nos restantes estados da fração. Os ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ correspondem a 11,7 kWh/(m².ano) e os ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ correspondem a 69,5 kWh/(m².ano) no *Estado inicial* e 40,9 kWh/(m².ano) nos restantes estados. De acordo com a Tabela 5.6, a fração não útil dos ganhos térmicos brutos tende a aumentar ao longo de cada estado da fração, resultando num aumento das necessidades N_{vc} .

Tabela 5.6: Resultados obtidos para transferência de calor por transmissão e ventilação e ganhos térmicos úteis e não úteis nas estações de aquecimento e arrefecimento no último piso

Último piso	<i>Estado inicial</i>	<i>SCE 2020</i>	<i>PH referência</i>	<i>PH calculado</i>
Estação de aquecimento ($kWh/m^2 \cdot ano$)				
$Q_{tr,i}$	182,4	62,2	50,0	47,8
$Q_{ve,i}$			11,3	
$Q_{int,i}$			15,4	
$Q_{sol,i}$			40,0	
$Q_{g,i}$			55,4	
η_i	1,00	0,90	0,85	0,83
$Q_{gu,i}$	55,2	50,0	46,9	46,1
Estação de arrefecimento ($kWh/m^2 \cdot ano$)				
$Q_{tr,v}$	70,4	24,0	19,3	18,5
$Q_{ve,v}$			5,2	
$Q_{int,v}$			11,7	
$Q_{sol,v}$	69,5	40,9	40,9	40,9
$Q_{g,v}$	81,2	52,6	52,6	52,6
$(1 - \eta_v)$	0,22	0,47	0,54	0,56
$(1 - \eta_v) * Q_{g,v}$	18,0	24,5	28,6	29,4

A Figura 5.9 representa graficamente as necessidades anuais de energia primária nos diferentes estados da habitação (N_{tc}) e o correspondente para a habitação de referência (N_t). Comparativamente com o *Estado inicial*, verificou-se um decréscimo do consumo anual de energia primária previsto de 80% para o estado *SCE 2020* e de 81% para os estados *PH referência* e *PH calculado*. Observou-se ainda que esse consumo era inferior ao simulado para o edifício de referência ($93,3 \text{ kWh}_{EP}/(m^2 \cdot ano)$), o que se traduz numa razão N_{tc}/N_t inferior a um e, consequentemente, numa classe energética mais elevada, que neste caso é comum às três situações *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*: B-. No *Estado inicial*, verificou-se que essa razão era de 2,33, resultando numa classe energética E.

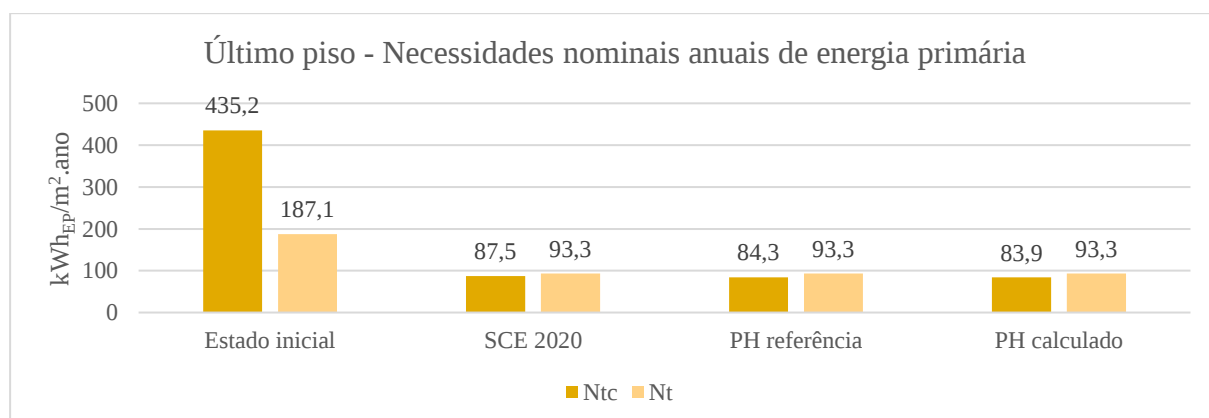


Figura 5.9: Necessidades nominais anuais de energia primária para a fração de habitação prevista e de referência do último piso

5.4 Comparação de resultados

De acordo com os resultados obtidos anteriormente, verificou-se em cada fração uma diminuição geral das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) superior a 70% face ao *Estado inicial*, atingindo os 90% e 91% nos estados *PH referência* e *PH calculado*, respetivamente, no caso da fração de habitação do último piso. Por outro lado, observou-se, em todos os casos, um aumento das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) igual ou superior a 24% face ao *Estado inicial*, atingindo valores máximos de 66% e 67% para os estados *PH referência* e *PH calculado*, respetivamente, no caso da fração de habitação do piso térreo.

As variações percentuais observadas para as necessidades N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} entre os estados *Estado inicial/SCE 2020*, *SCE 2020/PH referência* e *PH referência/PH calculado* estão representadas na Tabela 5.7. De acordo com a tabela, verifica-se que essa variação percentual é superior entre o *Estado inicial* e o *SCE 2020*, quando se alteram os parâmetros iniciais pelos valores de referência, sendo menos significativa entre o *PH referência* e *PH calculado* em qualquer uma das frações habitacionais, onde a diferença reside apenas na alteração do coeficiente U_w dos vãos.

Tabela 5.7: Variações percentuais relativas às necessidades N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} entre os estados para as três frações de habitação

Parâmetro	Estado inicial/SCE 2020	SCE 2020/PH referência	PH referência/PH calculado
Piso térreo			
N_{ic}	-80%	-40%	-10%
N_{vc}	151%	17%	3%
N_{tc}	-75%	-4%	0%
Piso intermédio			
N_{ic}	-71%	-48%	-13%
N_{vc}	32%	16%	3%
N_{tc}	-31%	-2%	-1%
Último piso			
N_{ic}	-83%	-39%	-10%
N_{vc}	36%	17%	3%
N_{tc}	-80%	-4%	-0,5%

O estado *PH calculado* corresponde à situação com menor consumo N_{ic} , sendo inferior para a fração de habitação do piso intermédio (7,2 kWh/(m².ano)) em comparação com as outras duas frações, e o estado com maior consumo N_{vc} , sendo superior para a fração de habitação do piso intermédio (31,5 kWh/(m².ano)). Relativamente ao consumo anual de energia primária N_{tc} em cada habitação, verificou-se um decréscimo geral nas três medidas de melhoria face ao *Estado inicial*. O estado *PH calculado* representa a situação com menor consumo de energia N_{tc} em qualquer uma das frações em estudo, sendo inferior para o piso intermédio (81,4 kWh/(m².ano)) comparativamente com as restantes frações.

O estado *PH calculado* traduz-se sempre num valor inferior em termos do consumo de energia útil para aquecimento N_{ic} em comparação com as outras duas situações de melhoria, porém, não teve impacto no consumo anual de energia primária e, consequentemente, na respetiva classe energética, uma vez que as necessidades de arrefecimento N_{vc} tendem a aumentar, compensando desta forma a diminuição das necessidades N_{ic} .

Estes resultados são justificados pela diminuição da transferência de calor por transmissão pela envolvente nas estações de aquecimento ($Q_{tr,i}$) e arrefecimento ($Q_{tr,v}$), como resultado da alteração do

coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado U_w para valores sucessivamente mais baixos, que comparativamente com o valor adotado para o *Estado inicial* (3,70 W/(m².K)) reduziu em 24% (2,80 W/(m².K)), em 66% (1,25 W/(m².K)) e em 77% (0,86 W/(m².K)) para as simulações *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, respetivamente. Como era expectável, as perdas térmicas por transmissão para o exterior foram inferiores quando a fração se encontrava no estado *PH calculado*, cujo coeficiente U_w dos vãos envidraçados também era menor.

Considerando que as frações estão sujeitas a renovações ao nível da envolvente opaca e envidraçada, devem cumprir com requisitos de conforto térmico e de desempenho energético, conforme o novo Decreto-Lei n.º101-D/2020 [12]. De acordo com a Tabela 2.17 do presente documento, os edifícios sujeitos a renovação, cujo ano de construção se encontra entre 1960 e 1990 inclusive, devem obedecer a requisitos de conforto térmico ao nível das necessidades de aquecimento e de arrefecimento, isto é, os rácios N_{ic}/N_i e N_{vc}/N_v devem ser iguais ou inferiores a 1,25.

Relativamente às necessidades para aquecimento, o requisito cumpre-se nas situações em que as frações sofreram renovações, *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, correspondendo este último ao que apresenta menor rácio N_{ic}/N_i para qualquer uma das frações de habitação, como se pode observar na Tabela 5.8. Por outro lado, o rácio N_{vc}/N_v é superior a 1,25 nessas situações, de acordo com a Tabela 5.9, atingindo valores superiores para o estado *PH calculado*, uma vez que as necessidades N_{vc} também são superiores para esse estado da fração.

Tabela 5.8: Rácio entre as necessidades de energia útil para aquecimento da habitação prevista (N_{ic}) e de referência (N_i)

Necessidades de aquecimento (Requisito: $N_{ic}/N_i \leq 1,25$)				
Fração de habitação	Estado inicial	SCE 2020	PH referência	PH calculado
Piso térreo	2,15	0,44	0,26	0,24
Piso intermédio	1,27	0,36	0,19	0,17
Último piso	2,61	0,44	0,27	0,24

Tabela 5.9: Rácio entre as necessidades de energia útil para arrefecimento da habitação prevista (N_{vc}) e de referência (N_v)

Necessidades de arrefecimento (Requisito: $N_{vc}/N_v \leq 1,25$)				
Fração de habitação	Estado inicial	SCE 2020	PH referência	PH calculado
Piso térreo	0,84	2,12	2,48	2,55
Piso intermédio	1,78	2,35	2,74	2,81
Último piso	1,61	2,19	2,55	2,62

Os edifícios sujeitos a renovações estão sujeitos ainda a requisitos de desempenho energético (Tabela 2.17), nomeadamente, ao nível da classe energética, sendo que esta deve ser igual ou superior a C, e da energia primária, cujo rácio R_{NT} deve ser inferior ou igual a 1,50. De acordo com os resultados obtidos, cumprem-se os seguintes requisitos para os estados em que as frações de habitação sofreram renovações.

Considerando que as frações sofreram reabilitações ao nível da envolvente envidraçada pela alteração de vãos envidraçados com maior desempenho energético já certificados pela *Passive House*, poderiam ser certificadas pelo critério *EnerPHit Standard*, cujas necessidades anuais para aquecimento e arrefecimento devem obedecer a um limite de 15 kWh/(m².ano) (Tabela 2.4). Para isso, são quantificados apenas os estados *PH referência* e *PH calculado* em cada fração, nos quais as necessidades N_{ic} resultaram em valores inferiores a 15 kWh/(m².ano), cumprindo assim esse limite máximo. Por outro lado, não cumprem para as necessidades para arrefecimento, cujos valores superam esse limite.

6 Conclusões e sugestões futuras

Para cada uma das frações em estudo, observou-se uma melhoria significativa da classe de eficiência energética face ao *Estado inicial* da habitação quando estas foram submetida aos estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*, resultando numa classe equivalente para estas situações: B⁻. Foi significativo sobretudo para a fração do último piso cuja situação original igualava uma classe energética E, seguindo-se o piso térreo com uma classe energética D e o piso intermédio com classe energética C.

Durante a estação de aquecimento, a alteração do valor U_w para valores inferiores resultou numa diminuição do consumo de energia para manter a habitação a uma temperatura de referência de 18°C. Na estação de arrefecimento, traduziu-se num maior consumo energético para arrefecer o espaço interior da fração de modo a mantê-la à temperatura de referência de 25°C. A isto acresce o facto de o método de cálculo não considerar ventilação adicional mecânica ou manual pela abertura dos vãos para arrefecer o espaço interior.

No entanto, apesar do decréscimo do consumo anual de energia primária verificado para cada estado da habitação, a classe energética final foi equivalente nos estados *SCE 2020*, *PH referência* e *PH calculado*. O rácio R_{NT} estimado entre as necessidades de energia primária para a habitação prevista e de referência resultou, para cada estado, num valor entre 0,90 e 0,97, que corresponde à classe de eficiência energética B⁻.

A utilização do valor U_w de referência *Passive House (PH referência)* inferior ao valor de referência aplicado no *SCE 2020*, permitiu uma diminuição das necessidades anuais de energia primária nas frações, mas não foi suficientemente significativa para atingir pelo menos a classe energética superior (B). O mesmo acontece relativamente ao estado *PH calculado*, no qual a implementação do valor U_w calculado com recurso à ferramenta de apoio, cujo valor é inferior comparativamente aos outros dois estados, não influenciou o desempenho energético das frações de habitação face aos outros dois estados.

Desta forma, é possível concluir que a substituição dos vãos envidraçados por outros de melhor desempenho energético teve impacto significativo na classe energética das habitações face ao seu *Estado inicial*, porém entre as três medidas de melhoria não foi suficiente para se obter uma classe energética superior. Poderia ser possível através da aplicação de outras medidas de melhoria, por exemplo ao nível da envolvente opaca, ventilação e sistemas técnicos.

No âmbito da certificação energética a nível nacional, a classe energética obtida nas frações para os três estados de melhoria cumpre com os requisitos de desempenho energético para edifícios sujeitos a renovações conforme o Despacho n.º 6476-E/2021, cuja classe energética deve ser igual ou superior a C. Relativamente ao conforto térmico, cumpre-se apenas o requisito ao nível das necessidades de aquecimento, cujo rácio N_{ic}/N_i é inferior a 1,25, ao contrário das necessidades de arrefecimento que superam esse limite. Assim, seria relevante fazer alterações no método de cálculo e implementar na folha de cálculo Itecons uma opção que permitisse ao utilizador introduzir ventilação adicional no espaço, caso seja necessária, na estação de arrefecimento.

Relativamente à ferramenta de apoio, seria importante incluir também soluções certificadas pela PHI ao nível da envolvente opaca e ventilação para a sua aplicação futura em edifícios novos ou renovados, auxiliando os técnicos autores de projeto no cumprimento dos requisitos aplicáveis para as soluções projetadas. Assim, a divulgação e o incentivo do conceito *Passive House* a nível nacional é uma mais valia para a reabilitação do parque edificado, que permite a diminuição do elevado consumo energético anual e, consequentemente, as emissões de gases com efeito de estufa verificados atualmente no setor residencial.

7 Referências

- [1] General Assembly, “70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development,” Sep. 2015.
- [2] S. Silva, “17 OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL,” 2020. <https://vou.pt/17-objetivos-do-desenvolvimento-sustentavel/> (accessed Jan. 31, 2022).
- [3] European Union, “Sustainable Cities and Communities.” https://ec.europa.eu/international-partnerships/sdg/sustainable-cities-and-communities_en (accessed Oct. 24, 2021).
- [4] United Nations, “Goal 11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable.” <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/> (accessed Oct. 24, 2021).
- [5] C. Europeia, “Diretiva (UE) 2018/844 do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de maio de 2018,” *J. Of. da União Eur.*, Jun. 2018.
- [6] Jornal Oficial da União Europeia, “Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010,” *J. Of. n.º L 153/13*, 2010, [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:01:PT:HTML>.
- [7] Comissão Europeia, “RECOMENDAÇÃO (UE) 2016/1318 DA COMISSÃO de 29 de julho de 2016,” *J. Of. da União Eur.*, no. 208, pp. 46–57, 2016, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016H1318&rid=1>.
- [8] Presidência do Conselho de Ministros, “Plano Nacional Energia e Clima 2030 - Resolução do Conselho de Ministros n.º 53/2020,” *Diário da República*, 2020, [Online]. Available: <https://dre.pt/home/-/dre/137618093/details/maximized>.
- [9] Agência Portuguesa do Ambiente, “ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 (RNC2050),” 2019.
- [10] Observatório da Energia, Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística, and A. para a E. (ADENE), *Energia em Números - Edição 2022*. 2022.
- [11] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Desempenho energético de edifícios.” <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/desempenho-energetico-de-edificios/> (accessed Oct. 17, 2022).
- [12] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020,” Portugal, Dec. 2020.
- [13] Passipedia - The Passive House Resource, “What is a Passive House?” https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house (accessed Nov. 05, 2021).
- [14] Sto, “Passivhaus.”
- [15] Passive House Institute, “Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard,” *Passiv. House Inst.*, pp. 1–27, 2016, [Online]. Available: https://passiv.de/downloads/03_building_criteria_en.pdf.
- [16] Passive House Institute, “30 years old - more relevant than ever !,” *Passiv. House Inst.*, pp. 1–7, 2021, [Online]. Available: https://passivehouse-international.org/upload/20210510_Press_Release_Anniversary_25th_International_Passive_House_Conference.pdf.
- [17] Passive House Institute, “Building certification guide,” *Passiv. House Institute*, p. 71, 2021, [Online]. Available: https://passiv.de/downloads/03_building_certification_guide.pdf.
- [18] C. Ionescu, T. Baracu, G.-E. Vlad, H. Necula, and A. Badea, “The historical evolution of the energy efficient buildings,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, pp. 243–253, Sep. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.062.
- [19] Passipedia - The Passive House Resource, “The Passive House – historical review.” https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review.
- [20] T. V. Esbensen and V. Korsgaard, “Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark,” *Sol. Energy*, vol. 19, no. 2, pp. 195–199, 1977, doi: 10.1016/0038-092X(77)90058-5.
- [21] B. Steinmüller, “Early Lessons - The Philips Experimental House,” pp. 37–40, 2008.
- [22] Passipedia - The Passive House Resource, “Philips Experimental House Research 1974ff: Passive versus Active Measures in Europe & America.” https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-

- _historical_review/passive_versus_active_measures_in_europe_america (accessed Nov. 22, 2021).
- [23] Passipedia - The Passive House Resource, “Zero-energy and zero heating energy houses.” [https://passipedia.org/basics/energy_and_ecology/zero-energy_and_zero_heating_energy_houses?s\[\]=low&s\[\]=energy&s\[\]=house#literature](https://passipedia.org/basics/energy_and_ecology/zero-energy_and_zero_heating_energy_houses?s[]=low&s[]=energy&s[]=house#literature) (accessed Jan. 07, 2022).
- [24] Passipedia - The Passive House Resource, “The world’s first Passive House, Darmstadt-Kranichstein, Germany.” https://passipedia.org/examples/residential_buildings/multi-family_buildings/central_europe/the_world_s_first_passive_house_darmstadt-kranichstein_germany (accessed Nov. 07, 2021).
- [25] W. Feist, “Lebenszyklus Bilanzen im Vergleich: Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Energieautarkes Haus,” vol. 8, 1997, [Online]. Available: https://passipedia.org/_media/picopen/primary_energy_input_comm2007.pdf.
- [26] L. Antonelli, “Passive house vs passivhaus: the reaction,” *Passive House Plus*, 2013. <https://passivehouseplus.co.uk/news/renewable-energy/passive-house-vs-passivhaus-the-reaction>.
- [27] Passive House Institute, “Passive House Institute / About us,” 2015. https://passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm (accessed Nov. 22, 2021).
- [28] W. Feist, S. Peper, and M. Görg, “CEPHEUS - cost efficient passive houses as european standards,” *Enercity*, 2001.
- [29] A. Pindar *et al.*, “A NORMA PASSIVHAUS EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA: DIRETRIZES DE PROJECTO PARA CASA CONFORTÁVEIS DE BAIXO CONSUMO ENERGÉTICO,” 2007.
- [30] M. Fujara and W. Feist, “Passive House Regions with Renewable Energies - PassREg,” 2015. [Online]. Available: www.passreg.eu/.
- [31] Associação Passivhaus Portugal - PHPT, “Cidades e Regiões Passive House,” 2019, [Online]. Available: www.passivhaus.pt.
- [32] AZEB, “AZEB | Affordable Zero Energy Buildings,” 2020. <https://azeb.eu/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [33] outPHit, “outPHit - Deep retrofits made faster, cheaper and more reliable,” 2020. <https://outphit.eu/en/> (accessed Jan. 27, 2022).
- [34] Homegrid, “Homegrid - portfólio,” 2016. <http://www.homegrid.pt/galerias.aspx?menu=Portfólio> (accessed Jan. 27, 2022).
- [35] Associação Passivhaus Portugal, “Reivindicar a Norma Passivhaus,” pp. 1–7, 2019, [Online]. Available: <http://www.passivhausplaner.eu/>.
- [36] Passipedia - The Passive House Resource, “Heating load in Passive Houses,” [Online]. Available: https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/heating_load.
- [37] Passive House Institute, “PER - The assessment for a sustainable energy supply.”
- [38] Passipedia - The Passive House Resource, “The new Passive House Classes.” https://passipedia.org/certification/passive_house_categories (accessed Jan. 06, 2022).
- [39] Associação Passivhaus Portugal, “Quem somos?,” 2018. <http://www.passivhaus.pt/sobre?m=2>.
- [40] Passipedia - The Passive House Resource, “Thermal insulation.” https://passipedia.org/planning/thermal_protection/integrated_thermal_protection (accessed Nov. 15, 2021).
- [41] Passive House Institute, “Thermal Insulation of Passive Houses,” 2006. https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/Passive_house_insulation.html.
- [42] International Passive House Association, “Ug, Uf, Uw, Uwhat? : An intro to the U-value and those most important to Passive House design,” 2020. <https://blog.passivehouse-international.org/ug-uf-uw-uwhat-an-intro-to-the-u-value-and-those-most-important-to-passive-house-design/> (accessed Nov. 21, 2021).
- [43] T. L. Bergman, A. S. Lavine, and F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 7th Edition. 2011.
- [44] C. A. Pina dos Santos and L. Matias, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa, 2006.

- [45] Passivhaus Institute, “Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components : Opaque construction systems,” pp. 1–11, 2020.
- [46] Passive House Institute, “Active for more comfort: Passive House,” *Int. Passiv. House Assoc.*, 2018, [Online]. Available: https://passivehouse-international.org/upload/Passive_House_Active_for_more_comfort_brochure.pdf.
- [47] ADENE - Agência para a Energia, “Guia SCE – Parâmetros de Cálculo,” p. 97, 2020.
- [48] Ambiente e Ação Climática e Infraestruturas e Habitação, “Portaria n.º 138-I/2021,” *Diário da República n.º 126/2021, 2º Supl. Série I 2021-07-01*, no. 12, pp. 12–53, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/application/conteudo/166296492>.
- [49] H. R. Wilson, “High-Performance Windows,” 2014.
- [50] Passivhaus Institute, “Window - Heat Transfer Coefficient Uw and Glazing - Heat Transfer Coefficient Ug,” 2006. https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/window_U.htm (accessed Jan. 05, 2022).
- [51] International Organization for Standardization, “ISO 10077-1:2017 Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 1: General,” 2017. <https://www.iso.org/standard/67090.html>.
- [52] International Organization for Standardization, “ISO 10077-2:2017 Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 2: Numerical method for frames,” 2017. <https://www.iso.org/standard/64995.html>.
- [53] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho n.º 6476-H/2021,” *Diário da República*, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/application/conteudo/166300890>.
- [54] Passive House Institute, “Information . Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components and Opening Elements in the Building Envelope,” pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: https://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_transparent_components_en.pdf.
- [55] Passive House Institute, “Windows for Passive Houses – Superior Quality of Transparent Components,” 2006. https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/windows_passive_houses_06.html (accessed Nov. 30, 2021).
- [56] Vitro Architectural Glass, “How Low-e Glass Works.” <https://glassed.vitroglazings.com/topics/how-low-e-glass-works> (accessed Nov. 11, 2022).
- [57] Associação Passivhaus Portugal, “Pontes Térmicas: Invisíveis ou nem por isso?,” 2020. <http://passivhaus.pt/blog-4-24-Pontes-Térmicas-Invisíveis-ou-nem-por-isso> (accessed Nov. 26, 2021).
- [58] B. Krick, “What is a thermal bridge?,” *Passiv. House Inst.*, 2012, [Online]. Available: https://passipedia.org/_media/picopen/microsoft_word_-_05_fact-sheet_thermal-bridges_kk.pdf.
- [59] Passipedia - The Passive House Resource, “What defines thermal bridge free design?,” 2019. https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/what_defines_thermal_bridge_free_design.
- [60] A. Ben Larbi, “Statistical modelling of heat transfer for thermal bridges of buildings,” *Energy Build.*, vol. 37, no. 9, pp. 945–951, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.enbuild.2004.12.013.
- [61] Passipedia - The Passive House Resource, “Definition and effects of thermal bridges,” 2020. https://passipedia.org/basics/building_physics_-_basics/thermal_bridges/thermal_bridge_definition.
- [62] UNILIN Insulation, “Airtightness.” <https://www.unilininsulation.com/en/all-about-insulation/airtight-insulation> (accessed Dec. 29, 2021).
- [63] S.-G. I. Ibérica, “Sistema VARIO,” 2014.
- [64] Passipedia - The Passive House Resource, “General principles for improving airtightness,” 2015. https://passipedia.org/planning/airtight_construction/general_principles/principles_for_improving_airtightness.
- [65] Passipedia - The Passive House Resource, “Airtight construction,” 2021. https://passipedia.org/planning/airtight_construction.
- [66] F. C. Martins, “Contributo para análise da relação entre comportamento acústico e permeabilidade ao ar da envolvente de edifícios,” Universidade de Coimbra, 2013.

- [67] Passive House Institute, “Passive House requirements,” 2015. https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm.
- [68] Passipedia - The Passive House Resource, “Types of ventilation,” 2019. https://passipedia.org/planning/building_services/ventilation/basics/types_of_ventilation.
- [69] Passive House, “Ventilation & Heat/Energy Recovery,” 2022. <http://passivehouse.com.au/page/ventilation---heat-energy-recovery>.
- [70] Passipedia - The Passive House Resource, “Air volumes,” 2019. [https://passipedia.org/planning/building_services/ventilation/basics/air_volumes?s\[\]=minimum&s\[\]=air&s\[\]=changes](https://passipedia.org/planning/building_services/ventilation/basics/air_volumes?s[]=minimum&s[]=air&s[]=changes).
- [71] S. R. Coentro, “Qualidade do Ar Interior em habitações: Fontes emissoras de poluentes,” Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [72] Associação Casa Passiva, “Requisitos passive house.” <https://www.ua.pt/pt/casapassiva/page/24169>.
- [73] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Eficiência Energética,” 2022. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/> (accessed Jan. 31, 2022).
- [74] Comissão Europeia, “Directiva 2002/65/CE de 16 de dezembro,” *J. Of. das Comunidades Eur.*, 2002.
- [75] Ministério Da Economia E Da Inovação, “Decreto-Lei n.º 78/2006,” *Diário da República*, vol. 67, 2006.
- [76] M. da E. e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto,” *Diário da República*, vol. 159, 2013.
- [77] Direção-Geral de Energia e Geologia, “Despacho n.º 6476-E/2021,” *Diário da República*, 2021.
- [78] Itecons, “Plataforma para a eficiência energética de edifícios.” <http://www.itecons.uc.pt/p3e/index.php#>.
- [79] Pinto & Pinto Lda., “Janelas de guilhotina,” 2023. <https://www.pintoepinto.com/janelas-de-guilhotina>.
- [80] Finstral Planner, “Quadrículas interiores.” <https://planer.finstral.com/pt/exterior/design/elementos-de-estilo/quadriculas-interiores>.
- [81] Passive House Institute, “Component Database.” <https://database.passivehouse.com/en/components/>.
- [82] ADENE - Agência para a Energia, “Guia técnico para janelas eficientes,” pp. 1–11.
- [83] M. O. Panão, “Transferência de calor e balanço de energia em edifícios,” *Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa*, pp. 1–149, 2018.
- [84] International Organization for Standardization, “ISO 52016-1:2017 Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures,” 2017. <https://www.iso.org/standard/65696.html>.
- [85] P. dos Santos and L. Matias, *ITE 50 - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

Anexos

A. Anexo A – Ferramenta de apoio no âmbito dos vãos envidraçados

No presente anexo apresenta-se um guia explicativo para a utilização correta da ferramenta de apoio no âmbito dos vãos envidraçados.

I. Índice

A ferramenta de apoio foi desenvolvida com recurso à folha de cálculo EXCEL, através do qual é possível determinar o coeficiente de transmissão térmica de um vão envidraçado com uma determinada configuração. Esta encontra-se organizada com os seguintes separadores: (I.) Índice, (II.) Informações gerais, (III.) Configuração do vão envidraçado, (IV.) Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, Base de dados relativa à (V.I) área transparente, (V.II) caixilho, (V.III) perfil intercalar ou espaçador (Figura A.1).

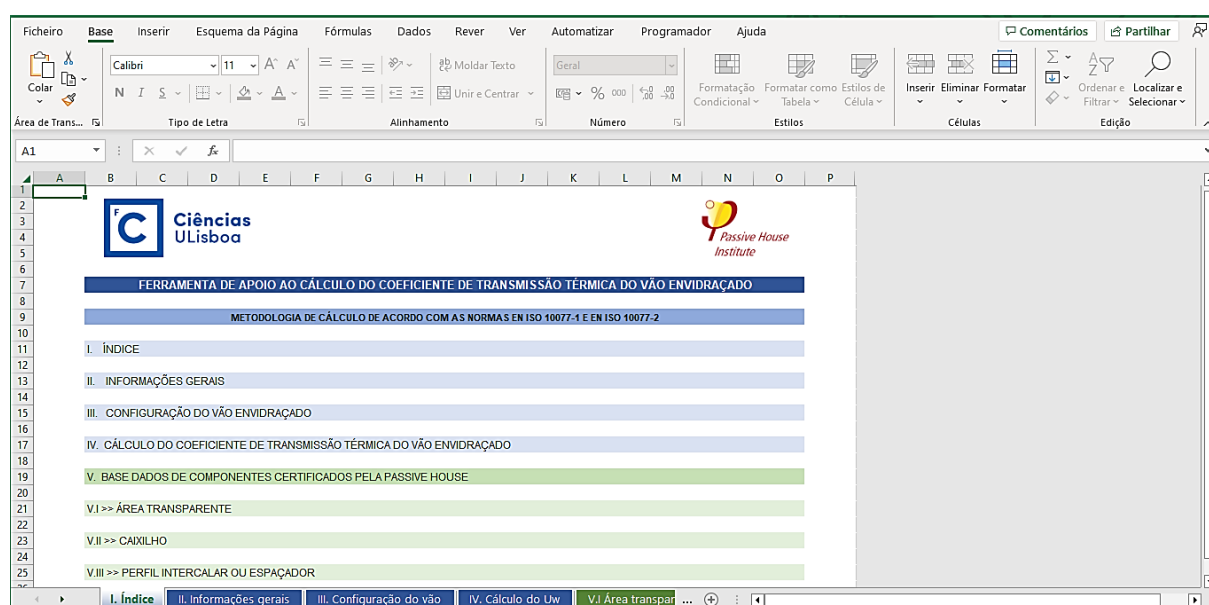


Figura A.1: Separador "I. Índice" da ferramenta de apoio

II. Informações gerais

O separador "II. Informações gerais" inclui várias indicações sobre o funcionamento da ferramenta, nomeadamente, os passos a seguir até ao cálculo do coeficiente U_w (Figura A.2), as equações aplicadas para a sua determinação conforme o Manual SCE e a *Passive House* e identificação dos parâmetros envolvidos nas mesmas (Figura A.3), figuras informativas para a configuração do vão envidraçado (Figura A.4) e, por último, os requisitos de referência aplicados para o valor U_w para o cálculo 1 e cálculo 2 (Figura A.5).

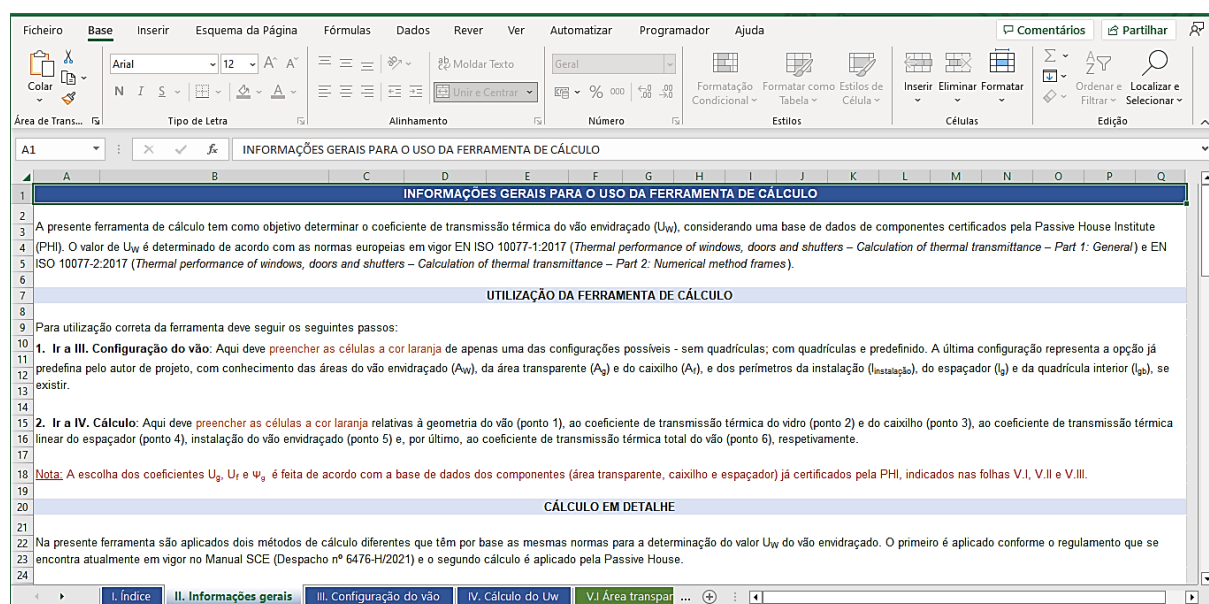


Figura A.2: Introdução à utilização da ferramenta de cálculo

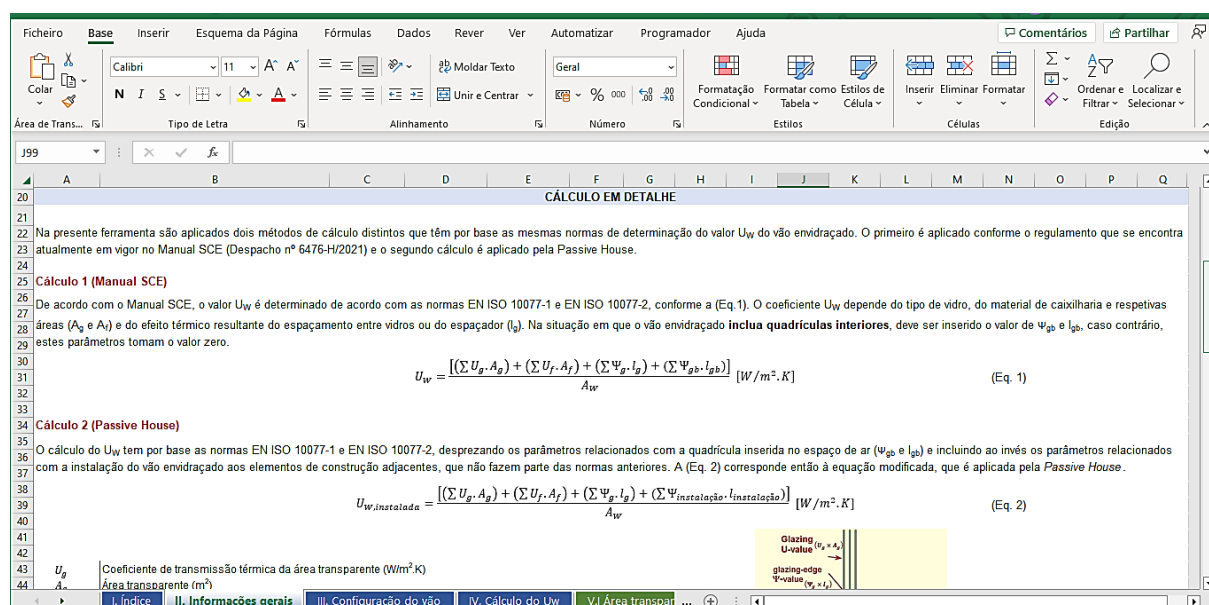


Figura A.3: Informações sobre o cálculo do coeficiente Uw em detalhe

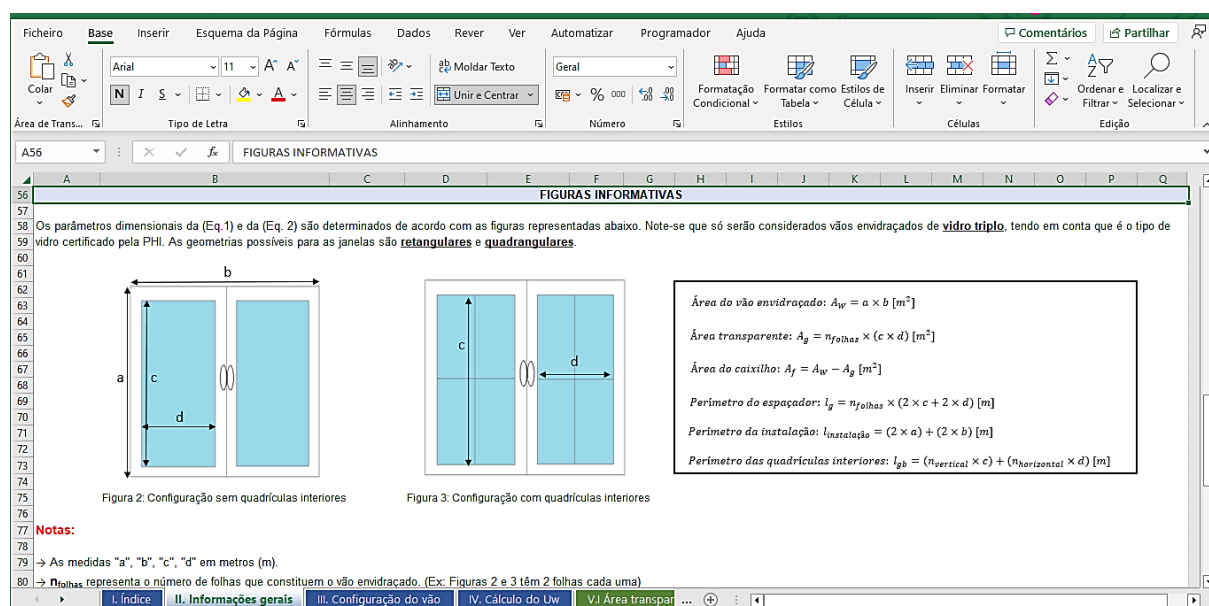


Figura A.4: Figuras informativas para a configuração do vão envidraçado

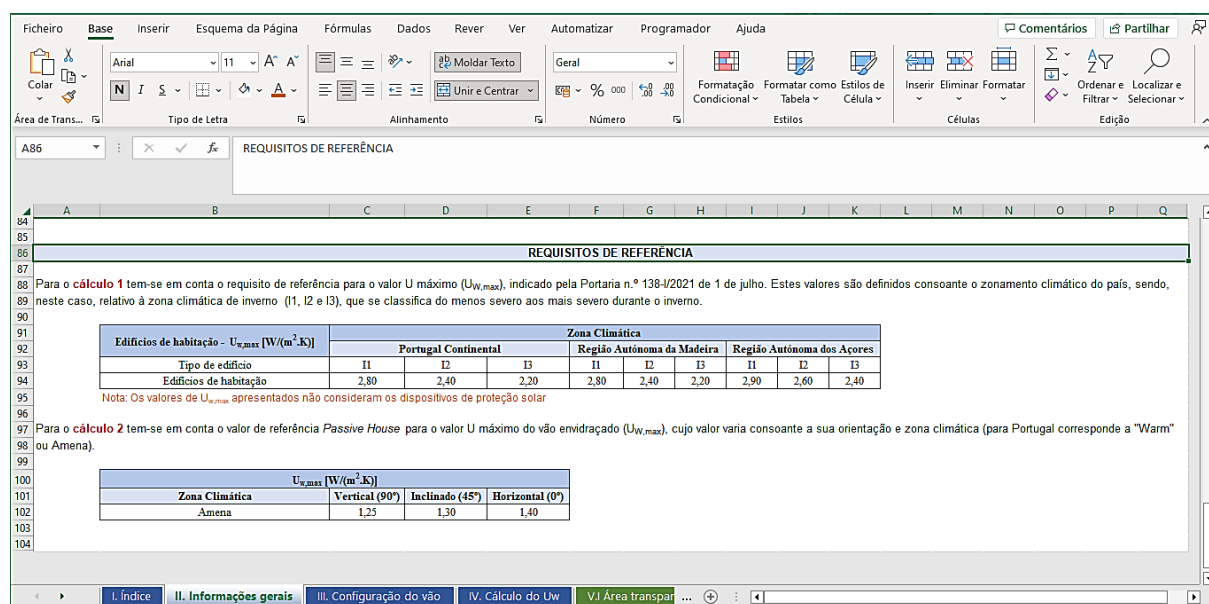


Figura A.5: Requisitos de referência a cumprir para o cálculo 1 e cálculo 2

III. Configuração do vão envidraçado

O separador "III. Configuração do vão" permite ao utilizador escolher de entre uma de três configurações possíveis para o vão envidraçado, a configuração sem quadrículas (Figura A.6), com quadrículas (Figura A.7) ou predefinida (Figura A.8). Neste separador deve-se preencher unicamente as células a cor laranja da configuração escolhida.

Configuração do vão envidraçado

Nota: Preencher os campos a laranja de APENAS UMA das três configurações indicadas

1. Configuração sem quadriculas

Número de folhas n_{folhas}	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)

Área do vão envidraçado, A_v (m²)	Área transparente, A_p (m²)	Área do caixilho, A_c (m²)	Perímetro da instalação, $l_{instalação}$ (m)	Perímetro do espaçador, l_e (m)
0	0	0	0	0

2. Configuração com quadriculas

Número de folhas n_{folhas}	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)

Diagrama de Janela: A diagrama de uma janela com dimensões a, b, c e d. A janela é dividida em duas partes, cada uma com uma alavanca de abertura.

Figura A.6: Opção "1. Configuração sem quadriculas" da ferramenta de apoio

2. Configuração com quadriculas

Número de folhas n_{folhas}	a (m)	b (m)	c (m)	d (m)

Quadriculas interiores

Horizontal	Vertical

Solução para as quadriculas

Utilizar valor de referência?	Tipo de quadricula	Distância entre o vidro e a quadricula inserida no espaço de ar d_g (mm)	Tipo de vidro	Coefficiente de transmissão térmica linear da quadricula interior de referência, $\psi_{g,ref}$ (W/m.K)	Coefficiente de transmissão térmica linear, ψ_g (W/m.K)

Área do vão envidraçado, A_v (m²)	Área transparente, A_p (m²)	Área do caixilho, A_c (m²)	Perímetro da instalação, $l_{instalação}$ (m)	Perímetro do espaçador, l_e (m)	Perímetro da quadricula interior, l_{gi} (m)
0	0	0	0	0	0

Diagrama de Janela: A diagrama de uma janela com dimensões a, b, c e d. A janela é dividida em duas partes, cada uma com uma alavanca de abertura.

Figura A.7: Opção "2. Configuração com quadriculas" da ferramenta de apoio

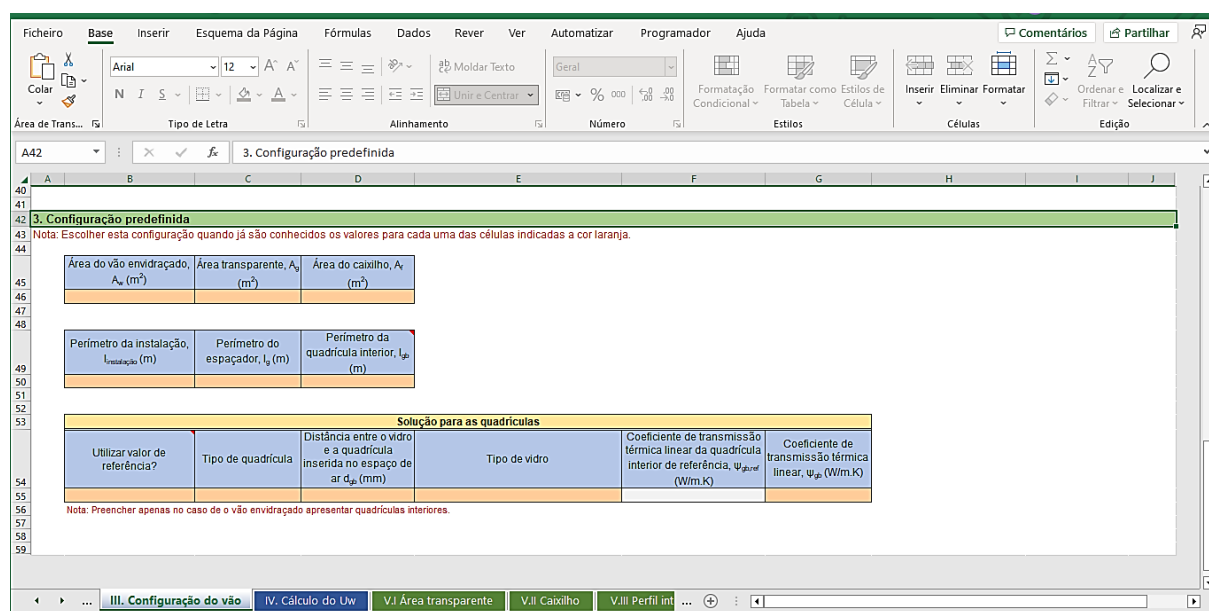


Figura A.8: Opção "3. Configuração predefinida" da ferramenta de apoio

IV. Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado

Após a escolha da configuração do vão envidraçado e o preenchimento das células respetivas no separador III., procede-se ao preenchimento da folha/separador "IV. Cálculo U_w ", na qual inclui cinco passos a seguir para o cálculo do coeficiente U_w do vão em estudo.

O primeiro passo corresponde à seleção da configuração escolhida (Figura A.9), seguindo-se a seleção das soluções para a área envidraçada, caixilho e perfil intercalar ou espaçador, cujo componente é escolhido de acordo com a base de dados disponível nos separadores V.I, V.II e V.III.

Para a área envidraçada, existem apenas soluções de mercado para vidros triplo *low-e* (Figura A.10). Relativamente ao caixilho, existem opções de mercado para caixilhos alumínio, PVC, madeira e madeira/alumínio (Figura A.11). Importa referir que a escolha do tipo de espaçador está diretamente relacionada com o tipo de caixilho optado anteriormente. Por exemplo, a seleção de um caixilho de alumínio com um espaçador de aço inoxidável permite ao utilizador optar por duas soluções de mercado (Figura A.12).

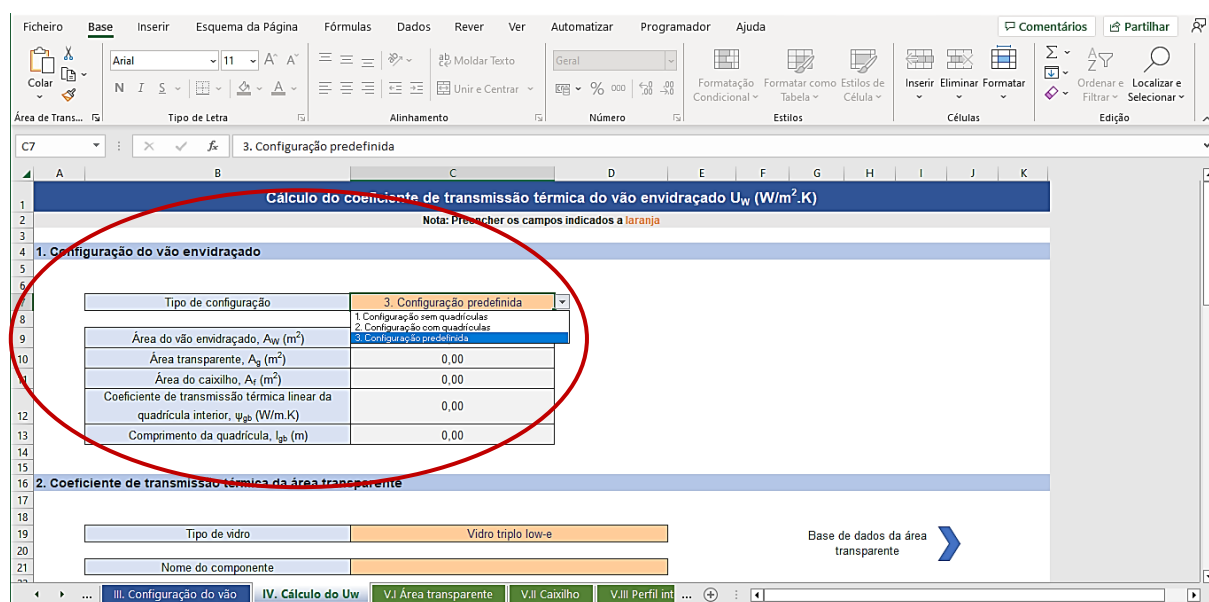


Figura A.9: Passo 1 - Seleção da configuração escolhida

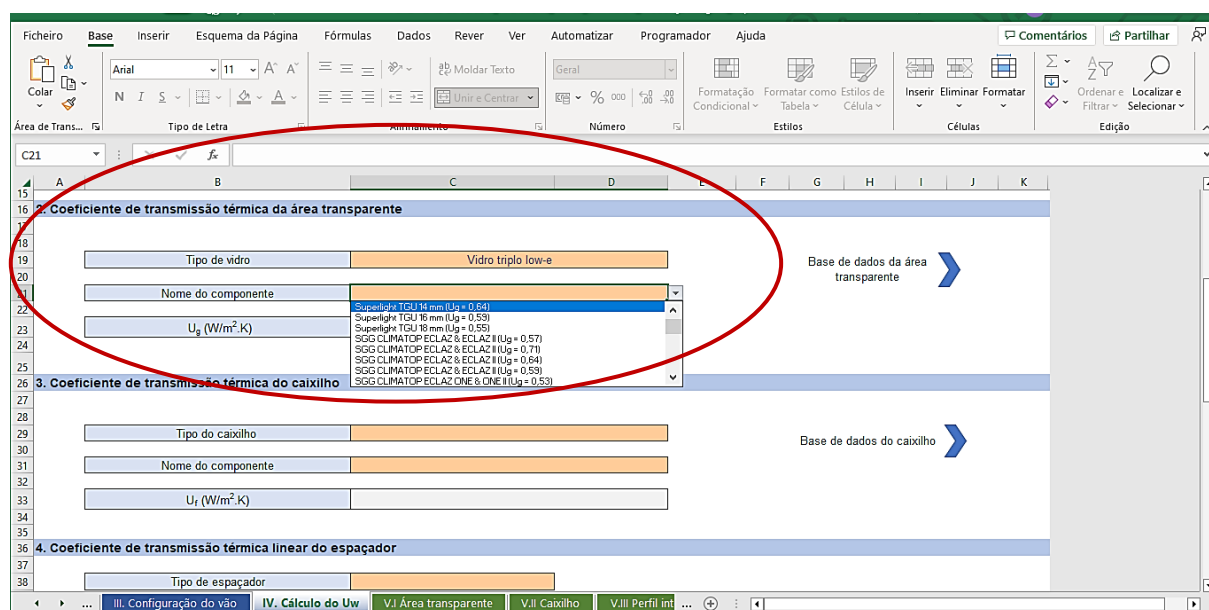


Figura A.10: Passo 2 - Solução para a área transparente

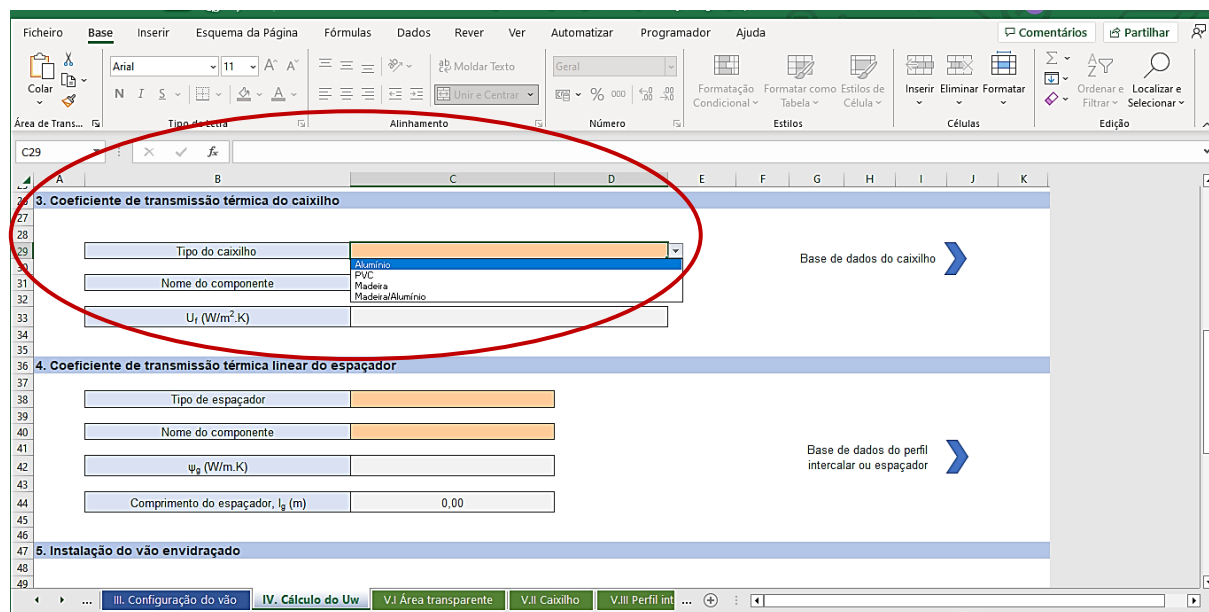


Figura A.11: Passo 3 - Solução para o caixilho

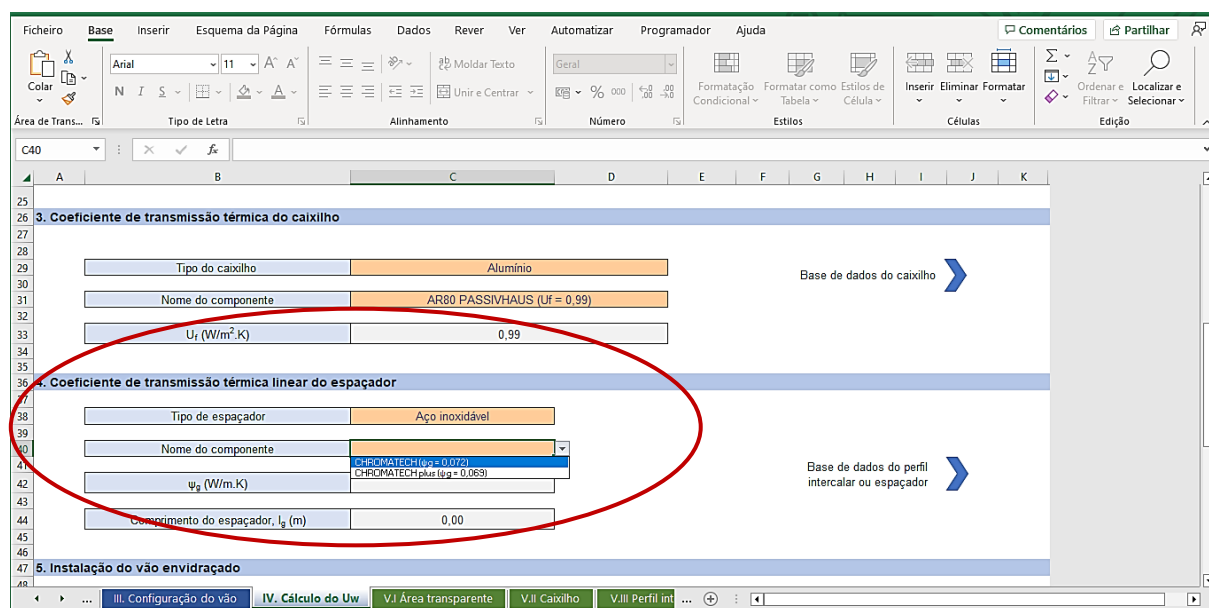


Figura A.12: Passo 4 - Solução para o perfil intercalar ou espaçador

No 5º passo é necessário implementar um valor para coeficiente de transmissão térmica linear da ligação dos componentes de construção adjacentes. Para uma instalação ótima do vão pode ser considerado $\Psi_{instalação} = 0,01$ (Figura A.13).

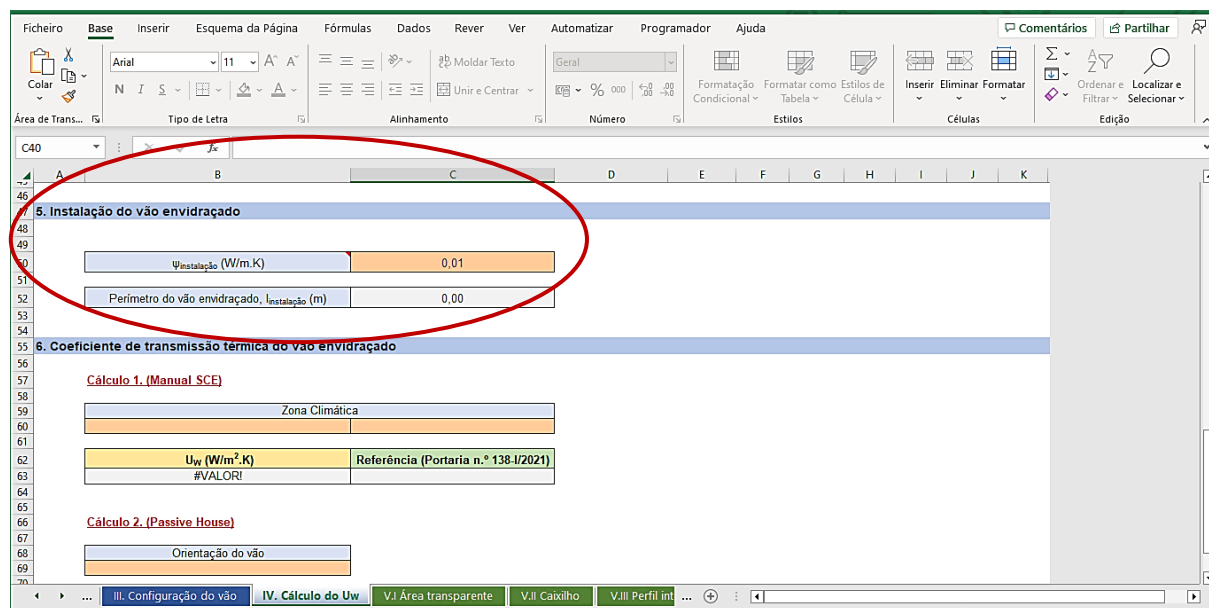


Figura A.13: Passo 5 – Seleção do coeficiente de transmissão térmica linear da ligação

De seguida, procede-se à determinação do valor U_w conforme os dois cálculos (cálculo 1 e 2). O valor obtido será verificado de acordo com o requisito de referência correspondente para cada cálculo. Tomando como exemplo a Figura A.14 e para o cálculo 1, um edifício de habitação localizado em Portugal Continental e para a zona climática de inverno I1 deve obedecer ao valor de referência de $U_{w,max}$ igual a $2,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Para o cálculo 2, o valor de referência é de $1,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ para o mesmo vão envidraçado com orientação vertical e numa zona climática amena (Portugal).

Se o valor obtido for inferior ou igual ao valor de referência, então a célula surge como “verde”, caso contrário, supera esse limite máximo e retorna “vermelho”. Para ambos os resultados do exemplo da Figura A.14, o valor U_w obtido é inferior a esses dois valores de referência.

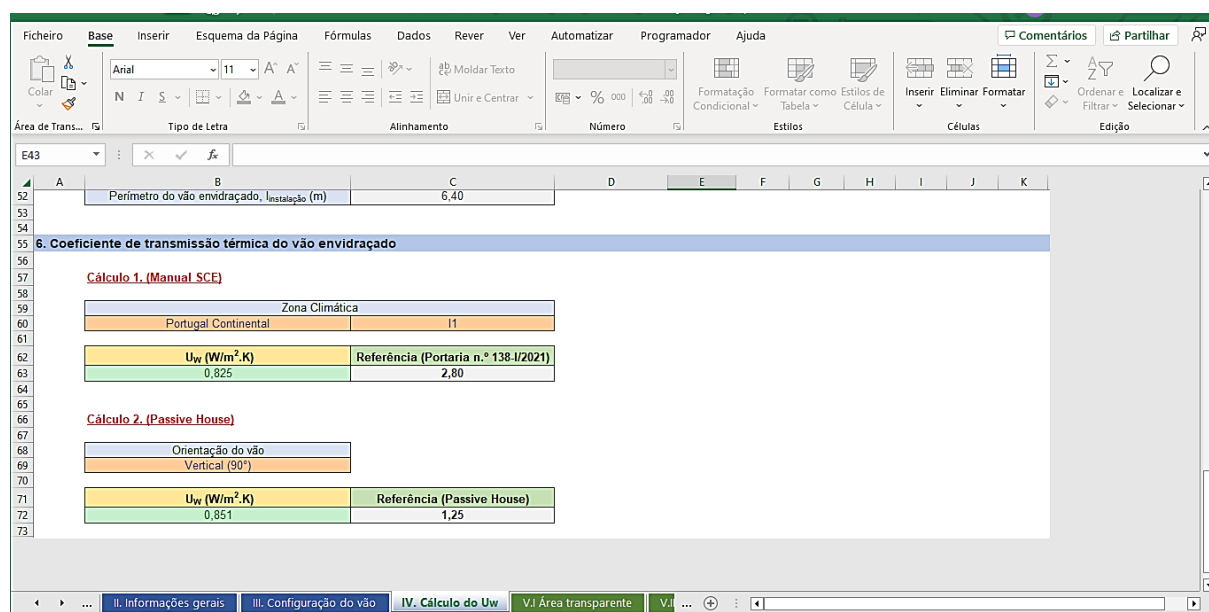


Figura A.14: Passo 6 - Obtenção do coeficiente U_w para os cálculos 1 e 2 e comparação com os respetivos requisitos de referência

V. Base de dados de componentes certificados pela *Passive House*

As informações relativas às soluções do mercado para cada um dos componentes encontram-se presentes na base de dados. As seguintes soluções já se encontram certificadas pela *Passive House Institute* e foram retiradas da plataforma *Component Database* [81].

V.I Área transparente

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	V.I >> ÁREA TRANSPARENTE										
	Nome do Fornecedor	Nome do componente	U_g (W/m².K)	Fator solar	Composição	Tipo de vidro	Espessura (mm)	Emissividade	Preenchimento	Clima	Especificação
3	LX Hausys, Ltd. Co	Superlight TGU 16 mm	0,24	0,33	5/16/0.5/16/5	Tripto low-e	16	0,033	Argon 90%	Ameno, temperado	Componente 1
4	LX Hausys, Ltd. Co	Superlight TGU 18 mm	0,23	0,33	5/16/0.5/16/5	Tripto low-e	18	0,033	Argon 90%	Ameno, temperado	Componente 2
6	LX Hausys, Ltd. Co	Superlight TGU 18 mm	0,25	0,33	5/16/0.5/16/5	Tripto low-e	18	0,033	Argon 90%	Ameno, temperado	Componente 3
7	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ & ECLAZ II	0,57	0,60	4/16/4/16/4	Tripto low-e	18	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 4
8	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ & ECLAZ II	0,71	0,60	4/12/4/12/4	Tripto low-e	12	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 5
9	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ & ECLAZ II	0,64	0,60	4/14/4/14/4	Tripto low-e	14	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 6
10	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ & ECLAZ II	0,53	0,60	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 7
11	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ ONE & ONE II	0,53	0,46	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 8
12	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ ONE & ONE II	0,55	0,46	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 9
13	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ ONE & ONE II	0,60	0,46	4/14/4/14/4	Tripto low-e	14	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 10
14	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP ECLAZ ONE & ONE II	0,67	0,46	4/12/4/12/4	Tripto low-e	12	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 11
15	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM ONE & ONE	0,55	0,37	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 12
16	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM ONE & ONE	0,53	0,37	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,010	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 13
17	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM 1XN & 1XN II	0,71	0,54	4/12/4/12/4	Tripto low-e	12	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 14
18	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM 1XN & 1XN II	0,64	0,54	4/14/4/14/4	Tripto low-e	14	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 15
19	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM 1XN & 1XN II	0,53	0,54	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 16
20	Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH	SGG CLIMATOP PLANITHERM 1XN & 1XN II	0,57	0,54	4/18/4/18/4	Tripto low-e	18	0,030	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 17
21	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2	0,59	0,52	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 18
22	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2	0,64	0,52	4/14/4/14/4	Tripto low-e	14	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 19
23	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2	0,72	0,52	4/12/4/12/4	Tripto low-e	12	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 20
24	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2	0,60	0,52	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 21
25	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2 (K)	0,55	0,52	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 22
26	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2 (K)	0,51	0,52	4/12/4/12/4	Tripto low-e	12	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 23
27	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2 (K)	0,51	0,52	4/14/4/14/4	Tripto low-e	14	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 24
28	Guardian Thathelm GmbH	ClimaGuard Premium2 (K)	0,52	0,52	4/16/4/16/4	Tripto low-e	16	0,033	Argon 90%	Frio, temperado	Componente 25

Fonte: Passive House Institute, Component Database

Figura A.15: Base de dados com soluções para a área transparente

V.II Caixilho

	A	B	D	E	F	G	H	I
	V.II >> CAIXILHO							
	Nome do Fornecedor	Nome do componente	U_f (W/m².K)	Tipo de caixilho	Corte do caixilho	Largura do caixilho (mm)	Clima	Especificações
3	HC Caixilharia, Lda	HC	1,08	PVC	Flying mullion	170	Ameno, temperado	Componente 1
4	HC Caixilharia, Lda	HC	0,97	PVC	Bottom	143	Ameno, temperado	Componente 2
5	HC Caixilharia, Lda	HC	1,02	PVC	Top/Lateral	118	Ameno, temperado	Componente 3
7	GALISUR S.L.	AR80 PASSIVHAUS	1,04	Alumínio	Flying mullion	185	Ameno, temperado	Componente 4
8	GALISUR S.L.	AR80 PASSIVHAUS	0,99	Alumínio	Bottom/Top/Lateral	134	Ameno, temperado	Componente 5
9	Strugal	PLANIA 1.0	1,01	PVC	Mullion 1 casement	164	Ameno, temperado	Componente 6
10	Strugal	PLANIA 1.0	1,01	PVC	Bottom/Top/Lateral	120	Ameno, temperado	Componente 7
11	Strugal	STRUGAL S20RP (Eurogroove)	1,05	Alumínio	Flying mullion	192	Ameno, temperado	Componente 8
12	Strugal	STRUGAL S20RP (Eurogroove)	0,99	Alumínio	Bottom/Top/Lateral	143	Ameno, temperado	Componente 9
13	Fabricados TIR	TIR EUR92	1,01	Madeira	Mullion 1 casement	184	Ameno, temperado	Componente 10
14	Fabricados TIR	TIR EUR92	1,01	Madeira	Bottom/Top/Lateral	132	Ameno, temperado	Componente 11
15	TORINCO S.L.	EUROTORR 92 PASSIVHAUS	1,29	Madeira	Flying mullion	128	Ameno	Componente 12
16	TORINCO S.L.	EUROTORR 92 PASSIVHAUS	1,20	Madeira	Bottom	117	Ameno	Componente 13
17	TORINCO S.L.	EUROTORR 92 PASSIVHAUS	1,20	Madeira	Top/Lateral	105	Ameno	Componente 14
18	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Hidden Sash Passivhaus 1.0	1,08	PVC	Flying mullion	136	Ameno, temperado	Componente 15
19	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Hidden Sash Passivhaus 1.0	1,05	PVC	Bottom/Top/Lateral	95	Ameno, temperado	Componente 16
20	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Passivhaus 1.0	1,10	PVC	Mullion 1 casement	144	Ameno, temperado	Componente 17
21	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Passivhaus 1.0	1,01	PVC	Bottom/Top/Lateral	120	Ameno, temperado	Componente 18
22	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Passivhaus 1.0 RTP	0,96	PVC	Bottom/Top/Lateral	164	Ameno, temperado	Componente 19
23	Aluminios Cortizo S.A.U.	A84 Passivhaus 1.0 RTP	1,01	PVC	Bottom/Top/Lateral	120	Ameno, temperado	Componente 20
24	Aluminios Cortizo S.A.U.	COR-80 Industrial Passivhaus 1.0	1,04	Alumínio	Flying mullion	174	Ameno, temperado	Componente 21
25	Aluminios Cortizo S.A.U.	COR-80 Industrial Passivhaus 1.0	0,94	Alumínio	Bottom/Top/Lateral	133	Ameno, temperado	Componente 22
26	Hebel Orient Sundar Window Co., Ltd.	All Climate Passive 126 W warm	1,21	Madeira/Alumínio	Flying mullion	116	Ameno	Componente 23
27	Hebel Orient Sundar Window Co., Ltd.	All Climate Passive 126 W warm	1,07	Madeira/Alumínio	Bottom/Top/Lateral	102	Ameno	Componente 24
28	GEALAN Fenster-Systeme GmbH	Certification S8000	1,17	PVC	Mullion 1 casement	162	Ameno	Componente 25
29	GEALAN Fenster-Systeme GmbH	Certification S8000	1,22	PVC	Mullion 2 casements	152	Ameno	Componente 26
30	GEALAN Fenster-Systeme GmbH	Certification S8000	1,19	PVC	Bottom	146	Ameno	Componente 27

Figura A.16: Base de dados com soluções para o caixilho

V.III Perfil intercalar ou espaçador

V.III >> PERFIL INTERCALAR OU ESPAÇADOR							
Nome do Fornecedor	Nome do componente	Ψ_i (W/mK)	Tipo de espaçador	Tipo de caixilho	Larguras do espaçador (mm)	Clima	Especificações
ROLLTECH A/S	CHROMATECH	0,054	Aço inoxidável	Madeira	8 a 24	Ameno	Componente 1
ROLLTECH A/S	CHROMATECH	0,072	Aço inoxidável	Alumínio	8 a 24	Ameno	Componente 2
ROLLTECH A/S	CHROMATECH	0,062	Aço inoxidável	Madeira/Alumínio	8 a 24	Ameno	Componente 3
ROLLTECH A/S	CHROMATECH plus	0,052	Aço inoxidável	Madeira	8 a 24	Ameno	Componente 4
ROLLTECH A/S	CHROMATECH plus	0,069	Aço inoxidável	Alumínio	8 a 24	Ameno	Componente 5
ROLLTECH A/S	CHROMATECH plus	0,059	Aço inoxidável	Madeira/Alumínio	8 a 24	Ameno	Componente 6
Alu-Pro S.r.l.	MULTITECH A	0,048	Plástico/alumínio	Madeira	9 a 27	Ameno	Componente 7
Alu-Pro S.r.l.	MULTITECH A	0,053	Plástico/alumínio	Alumínio	8 a 27	Ameno	Componente 8
Alu-Pro S.r.l.	MULTITECH A	0,054	Plástico/alumínio	Madeira/Alumínio	10 a 27	Ameno	Componente 9

Fonte: Passive House Institute, Component Database

Figura A.17: Base de dados com soluções para o perfil intercalar ou espaçador

B. Anexo B – Metodologia Manual SCE: Balanços de energia primária

No presente anexo apresenta-se a metodologia de cálculo para os parâmetros incluídos no subcapítulo 3.3, conforme o Manual SCE [53].

B.1 Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento de um edifício de habitação previsto (N_{ic}) ou de referência (N_i) traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de referência de 18°C ($\theta_{ref,i}$) durante 24 horas e durante toda a estação de aquecimento. A determinação dos parâmetros necessários ao cálculo de N_{ic} e N_i é feita de acordo com as subsecções B.1.1 e B.1.2, respetivamente.

B.1.1 Edifício de habitação – Previsto

B.1.1.1 Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,i}$)

Devido à diferença de temperatura entre o espaço interior útil e os demais ambientes ao longo da estação de aquecimento, ocorrem perdas de calor calculadas por transmissão e traduzem-se de acordo com a Equação (B.1).

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.1})$$

Em que:

- ❖ GD representa o número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de 18 °C [°C];
- ❖ $H_{tr,i}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [W/°C].

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento ($H_{tr,i}$), calculado com base na Norma EN ISO 13789, representa o somatório dos coeficientes de transferência de calor por transmissão pelos vários elementos da envolvente (paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos, pontes térmicas planas e lineares) conforme a Equação (B.2).

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \text{ [W/°C]} \quad (\text{B.2})$$

Em que:

- ❖ H_{ext} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/°C];
- ❖ H_{enu} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com espaços interiores não úteis [W/°C];
- ❖ H_{adj} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/°C];
- ❖ H_{ecs} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo [W/°C].

O coeficiente de transferência de calor por transmissão entre os elementos da envolvente que separam o ambiente exterior do interior (H_{ext}), é determinado conforme a Equação (B.3).

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \quad [W/^{\circ}C] \quad (B.3)$$

Em que:

- ❖ U_i^{23} representa o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;
- ❖ A_i representa a área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício $[m^2]$;
- ❖ ψ_j representa o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;
- ❖ B_j representa o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$.

A determinação dos coeficientes de transferência de calor por transmissão através da envolvente interior, como o coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente em contacto com espaços interiores não úteis (H_{enu}) e em contacto com edifícios adjacentes (H_{adj}), depende da condição fronteira interior de um elemento e das temperaturas dos dois ambientes separados por este, que é dada pelo coeficiente de redução do espaço interior não útil (b_{ztu}), conforme a Equação (B.4).

$$H_{enu} = H_{adj} = \sum_h b_{ztu_h} \left(\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\psi_j \times B_j] \right) \quad [W/^{\circ}C] \quad (B.4)$$

Em que:

- ❖ b_{ztu_h} representa o coeficiente de redução do espaço interior não útil h ;
- ❖ U_i representa o coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;
- ❖ A_i representa a área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício $[m^2]$;
- ❖ ψ_j representa o coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;
- ❖ B_j representa o desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$.

O coeficiente de transferência de calor por transmissão através da envolvente em contacto com o solo (H_{ecs}) é determinado através da Equação (B.5).

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf_i} \times A_i] + \sum_j [z_{solo_j} \times P_{solo_j} \times U_{bw_j}] \quad [W/^{\circ}C] \quad (B.5)$$

Em que:

- ❖ U_{bf_i} representa o coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;
- ❖ A_i representa a área do pavimento em contacto com o solo i , medida pelo interior do edifício $[m^2]$;
- ❖ z_{solo_j} representa a profundidade média da parede em contacto com o solo j $[W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)]$;

²³ Em vãos envidraçados com dispositivos de proteção solar deve ser tido em conta o valor do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite (U_{wdn}).

- ❖ P_{solo_j} representa o desenvolvimento total da parede em contacto com o solo j , medido pelo interior do edifício [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- ❖ U_{bw_j} representa o coeficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo j [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];

B.1.1.2 Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,i}$)

A transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) é obtida através da Equação (B.6).

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} [kWh/ano] \quad (B.6)$$

Em que:

- ❖ GD representa o número de graus-dias na estação de aquecimento, na base de $18^\circ C$ [$^\circ C$];
- ❖ $H_{ve,i}$ representa o coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [$W/^\circ C$]. Este é determinado conforme a Equação (B.7).

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d [W/^\circ C] \quad (B.7)$$

Na situação em que a ventilação é assegurada por meios providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, o cálculo de $Q_{ve,i}$ deve ser efetuado através da Equação (B.8), considerando o fator de correção de temperatura na estação de aquecimento ($b_{ve,i}$), determinado através da Equação (B.9).

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times b_{ve,i} \times H_{ve,i} [kWh/ano] \quad (B.8)$$

$$b_{ve,i} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{\dot{V}_{ins}}{R_{ph,i} \times A_p \times P_d} \quad (B.9)$$

Em que:

- ❖ η_{RC} representa o rendimento do sistema de recuperação de calor;
- ❖ $\dot{V}_{ins}$ representa o valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor [m^3/h];
- ❖ $R_{ph,i}$ representa a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento [h^{-1}];
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento [m^2];
- ❖ P_d é o pé direito médio ponderado [m].

Na determinação de $H_{ve,i}$ deve ser considerado o valor de $R_{ph,i}$ calculado (Equação (B.10)), na situação em que este seja igual ou superior a 0,5 renovações por hora. Caso a condição não se verifique, assume-se o valor deste limite.

$$R_{ph,i} = \frac{\text{Caudal de ar novo } [m^3/h]}{\text{Volume ventilado } [m^3]} [h^{-1}] \quad (B.10)$$

B.1.1.3 Ganhos térmicos úteis ($Q_{gu,i}$)

Na estação de aquecimento, os ganhos térmicos úteis ($Q_{gu,i}$) são determinados em função dos ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$) e do fator de utilização dos ganhos térmicos (η_i), conforme Equação (B.11).

$$Q_{gu,i} = Q_{g,i} \times \eta_i \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.11})$$

Os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento ($Q_{g,i}$) resultam do somatório dos ganhos térmicos provenientes das cargas internas ($Q_{int,i}$), como iluminação, equipamentos e ocupação, e dos ganhos solares através dos vãos envidraçados ($Q_{sol,i}$), conforme a Equação (B.12).

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.12})$$

Os ganhos térmicos provenientes das fontes internas de calor na estação de aquecimento ($Q_{int,i}$) são determinados conforme a Equação (B.13).

$$Q_{int,i} = 0,72 \times q_{int} \times M \times A_p \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.13})$$

Em que:

- ❖ q_{int} representam os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície e assumem o valor fixo 4 W/m^2 ;
- ❖ M é a duração da estação de aquecimento [meses];
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento [m^2].

Os ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento ($Q_{sol,i}$) são determinados de acordo com a Equação (B.14).

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j \left[X_j \times \sum_n F_{s,i_{nj}} \times A_{s,i_{nj}} \right] \times M \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.14})$$

Em que:

- ❖ G_{sul} representa a energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul durante a estação de aquecimento [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{mês})$];
- ❖ X_j é o fator de orientação para a orientação j , cujo valor é obtido de acordo com a Tabela 52 do Manual SCE [53];
- ❖ $F_{s,i_{nj}}$ representa o fator de obstrução solar do vão envidraçado n com orientação j na estação de aquecimento;
- ❖ $A_{s,i_{nj}}$ representa a área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com orientação j na estação de aquecimento [m^2];
- ❖ M é a duração da estação de aquecimento [meses].

A área efetiva coletora da radiação solar do vão envidraçado ($A_{s,i}$) representa a área que é utilizada para efeitos de contabilização dos ganhos solares e depende da área total do vão envidraçado (A_W), da fração envidraçada (F_g) e do fator solar na estação de aquecimento (g_i), conforme a Equação (B.15).

$$A_{s,i} = A_W \times F_g \times g_i \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{B.15})$$

Na situação em que os vãos envidraçados interiores são adjacentes a um espaço interior não útil que possua vãos envidraçados, nomeadamente, marquises, estufas, átrios ou similares, aplica-se a Equação (B.16).

$$A_{s,i} = A_{W,int} \times F_{g,int} \times F_{g,enu} \times g_{i,int} \times g_{i,enu} [m^2] \quad (B.16)$$

Em que:

- ❖ $A_{W,int}$ representa a área do vão envidraçado interior [m^2];
- ❖ $F_{g,int}$ é o fração envidraçada do vão envidraçado interior;
- ❖ $F_{g,enu}$ é o fração envidraçada do vão envidraçado do espaço interior não útil;
- ❖ $g_{i,int}$ é o fator solar de inverno do vão envidraçado interior;
- ❖ $g_{i,enu}$ é o fator solar de inverno do vão envidraçado do espaço interior não útil.

O fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento (η_i) é determinado em função do fator γ_i , que traduz a relação entre os ganhos térmicos brutos ($Q_{g,i}$) e a soma das transferências de calor por transmissão pela envolvente ($Q_{tr,i}$) e por ventilação ($Q_{ve,i}$), conforme a Equação (B.17), e do parâmetro que representa a influência da inércia térmica do edifício (α_{it}).

$$\gamma_i = \frac{Q_{g,i}}{Q_{tr,i} + Q_{ve,i}} \quad (B.17)$$

O cálculo de η_i deve ser efetuado de acordo com as seguintes condições:

- ❖ Se $\gamma_i \neq 1$ e $\gamma_i > 0$:

$$\eta_i = \frac{1 - \gamma_i^{\alpha_{it}}}{1 - \gamma_i^{\alpha_{it}+1}} \quad (B.18)$$

- ❖ Se $\gamma_i = 1$:

$$\eta_i = \frac{\alpha_{it}}{\alpha_{it} + 1} \quad (B.19)$$

- ❖ Se $\gamma_i < 0$:

$$\eta_i = \frac{1}{\gamma_i} \quad (B.20)$$

O parâmetro α_{it} assume valores diferentes consoante a inércia térmica do edifício:

- Inércia térmica fraca: $\alpha_{it} = 1,8 \text{ W}/^\circ\text{C}$
- Inércia térmica média: $\alpha_{it} = 2,6 \text{ W}/^\circ\text{C}$
- Inércia térmica forte: $\alpha_{it} = 4,2 \text{ W}/^\circ\text{C}$

B.1.2 Edifício de habitação - Referência

A determinação dos parâmetros de transferência de calor por transmissão ($Q_{tr,i_{ref}}$), ventilação ($Q_{ve,i_{ref}}$) e os ganhos de calor úteis ($Q_{gu,i_{ref}}$) de referência é efetuada tal como no edifício previsto, conforme detalhado nas subsecções B.1.1.1 a B.1.1.3, considerando as seguintes particularidades:

- Transferência de calor por transmissão de referência ($Q_{tr,i_{ref}}$): considerar os valores de coeficiente de transmissão térmica de referência (U_{ref}) e de coeficiente de transmissão térmica linear de referência (ψ_{ref}) presentes nas Tabela B.1 e Tabela B.2, respetivamente. Relativamente aos vãos envidraçados, a sua área total deve ser até 20% da área interior útil de pavimento²⁴ do edifício, sendo que a eventual área excedente deve ser somada à área de envolvente opaca exterior.

Tabela B.1: Coeficientes de transmissão térmica de referência em edifícios de habitação (Fonte: [53])

Edifícios de habitação - U_{ref} [W/(m ² .K)]			Zona Climática					
			Portugal Continental			Regiões Autónomas		
Tipo de elemento	Condição fronteira		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,50	0,40	0,35	0,70	0,60	0,45
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35
Vãos envidraçados			2,80	2,40	2,20	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo			0,50			0,50		

Tabela B.2: Coeficientes de transmissão térmica linear de referência em edifícios de habitação (Fonte: [53])

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.K)]
Fachada com pavimentos térreos	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou espaço interior não útil	
Fachada com cobertura	0,50
Fachada com pavimentos de nível intermédio	
Fachada com varanda	
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia	
Zona de caixa de estore	0,20

- Transferência de calor por ventilação de referência ($Q_{ve,i_{ref}}$): pressupõem-se uma taxa nominal de renovação do ar interior de referência na estação de aquecimento ($R_{ph,i_{ref}}$) até um máximo de 0,6 renovações por hora [h⁻¹], nas condições:

²⁴ Representa o somatório das áreas de pavimento, medidas em planta pelo perímetro interior, de todos os espaços interiores úteis pertencentes ao edifício, com ocupação atual ou prevista e com necessidades de energia atuais ou previstas associadas ao aquecimento ou arrefecimento ambiente para conforto humano [12].

- i. Se $R_{ph,i} < 0,5 \text{ h}^{-1}$ então $R_{ph,i_{ref}} = 0,5 \text{ h}^{-1}$;
- ii. Se $0,5 \leq R_{ph,i} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ então $R_{ph,i_{ref}} = R_{ph,i}$;
- iii. Se $R_{ph,i} > 0,6 \text{ h}^{-1}$ então $R_{ph,i_{ref}} = 0,6 \text{ h}^{-1}$.

Onde $R_{ph,i}$ representa a taxa nominal de renovação do ar do edifício previsto.

- Ganhos térmicos úteis de referência ($Q_{gu,i_{ref}}$): considera-se que os ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar de referência ($Q_{sol,i_{ref}}$) são determinados conforme a Equação (B.21). O fator de utilização dos ganhos térmicos de referência na estação de aquecimento ($\eta_{i_{ref}}$) é igual a 0,6 (60%).

$$Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \times 0,146 \times 0,15 \times A_p \times M \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.21})$$

B.2 Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento de um edifício de habitação previsto (N_{vc}) ou de referência (N_v) traduzem a quantidade de energia necessária para manter a habitação a uma temperatura de referência de 25°C ($\theta_{ref,v}$) durante 24 horas e durante toda a estação de arrefecimento. A determinação dos parâmetros necessários ao cálculo de N_{vc} e N_v é feita de acordo com as subsecções B.2.1 e B.2.2, respetivamente.

B.2.1 Edifício de habitação – Previsto

B.2.1.1 Transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,v}$)

Devido à diferença de temperatura entre o espaço interior útil e os demais ambientes ao longo da estação de arrefecimento, ocorrem perdas de calor calculadas por transmissão e traduzem-se de acordo com a Equação (B.22).

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \times (\theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}) \times \frac{L_v}{1000} \text{ [kWh/ano]} \quad (\text{B.22})$$

Em que:

- ❖ $H_{tr,v}$ representa o coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento [$W/^\circ C$].
- ❖ $\theta_{ref,v}$ é a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, igual a 25 [$^\circ C$];
- ❖ $\theta_{ext,v}$ é a temperatura exterior média na estação de arrefecimento [$^\circ C$];
- ❖ L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 [h].

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento ($H_{tr,v}$), calculado com base na Norma EN ISO 13789, representa o somatório dos coeficientes de transferência de calor por transmissão pelos vários elementos da envolvente (paredes, envidraçados, coberturas,

pavimentos, pontes térmicas planas e lineares), cujos valores são determinados conforme descrito na subsecção B.1.1.1.

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} [W/^{\circ}C] \quad (B.23)$$

Em que:

- ❖ H_{ext} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com o exterior $[W/^{\circ}C]$;
- ❖ H_{enu} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos da envolvente em contacto com espaços interiores não úteis $[W/^{\circ}C]$;
- ❖ H_{ecs} representa o coeficiente de transferência de calor por transmissão através de elementos em contacto com o solo $[W/^{\circ}C]$.

B.2.1.2 Transferência de calor por ventilação ($Q_{ve,v}$)

A transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento ($Q_{ve,v}$) é obtida através da Equação (B.24).

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \times (\theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}) \times \frac{L_v}{1000} [kWh/ano] \quad (B.24)$$

Em que:

- ❖ $H_{ve,v}$ representa o coeficiente de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento $[W/^{\circ}C]$.
- ❖ $\theta_{ref,v}$ é a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, igual a 25 $[^{\circ}C]$;
- ❖ $\theta_{ext,v}$ é a temperatura exterior média na estação de arrefecimento $[^{\circ}C]$;
- ❖ L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 $[h]$.

Na situação em que a ventilação seja assegurada por meios providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído, deve existir um bypass nos mesmos, sendo que nos casos em que este não esteja incluído, o cálculo de $Q_{ve,v}$ deve ser efetuado através da Equação (B.25), considerando o fator de correção de temperatura na estação de arrefecimento ($b_{ve,v}$), determinado através da Equação (B.26).

$$Q_{ve,v} = b_{ve,v} \times H_{ve,v} \times (\theta_{ref,v} - \theta_{ext,v}) \times \frac{L_v}{1000} [kWh/ano] \quad (B.25)$$

$$b_{ve,v} = 1 - \eta_{RC} \times \frac{\dot{V}_{ins}}{R_{ph,v} \times A_p \times P_d} \quad (B.26)$$

Em que:

- ❖ η_{RC} representa o rendimento do sistema de recuperação de calor;
- ❖ $\dot{V}_{ins}$ representa o valor médio diário do caudal de ar insuflado através do sistema de recuperação de calor $[m^3/h]$;
- ❖ $R_{ph,v}$ representa a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento $[h^{-1}]$;
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento $[m^2]$;
- ❖ P_d é o pé direito médio ponderado $[m]$.

O coeficiente de transferência de calor por ventilação ($H_{ve,v}$) é determinado pela Equação (B.27).

$$H_{ve,v} = 0,34 \times R_{ph,v} \times A_p \times P_d [W/^{\circ}C] \quad (B.27)$$

- ❖ $R_{ph,v}$ representa a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento [h^{-1}];
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento [m^2];
- ❖ P_d é o pé direito médio ponderado [m].

Na determinação de $H_{ve,v}$ deve ser considerado o valor de $R_{ph,v}$ calculado, na situação em que este seja igual ou superior a 0,6 renovações por hora. Caso a condição não se verifique, assume-se o valor deste limite.

B.2.1.3 Ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$)

Os ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento ($Q_{g,v}$) resultam do somatório dos ganhos térmicos provenientes das cargas internas ($Q_{int,v}$), como iluminação, equipamentos e ocupação, e dos ganhos solares através das envolventes opaca e envidraçada ($Q_{sol,v}$), conforme a Equação (B.28).

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} [kWh/ano] \quad (B.28)$$

Os ganhos térmicos provenientes das fontes internas de calor na estação de arrefecimento ($Q_{int,v}$) são determinados conforme a Equação (B.29).

$$Q_{int,v} = q_{int} \times A_p \times \frac{L_v}{1000} [kWh/ano] \quad (B.29)$$

Em que:

- ❖ q_{int} representam os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície e assumem o valor fixo $4 W/m^2$;
- ❖ L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 [h];
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento [m^2].

Os ganhos térmicos resultantes do aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados e pela envolvente opaca na estação de arrefecimento ($Q_{sol,v}$) são determinados de acordo com a Equação (B.30). O fator de obstrução solar em superfícies opacas é opcional, devendo, quando considerado, seguir a abordagem comum à dos vãos envidraçados.

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[G_{sol,j} \times \sum_n F_{s,v_{nj}} \times A_{s,v_{nj}} \right] \times M [kWh/ano] \quad (B.30)$$

Em que:

- ❖ $G_{sol,j}$ representa a energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante a estação de arrefecimento [kWh/m^2];
- ❖ $F_{s,v_{nj}}$ representa o fator de obstrução solar da superfície do elemento n com orientação j na estação de arrefecimento;

- ❖ $A_{s,v_{nj}}$ representa a área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com orientação j na estação de arrefecimento [m^2];

A área efetiva coletora da radiação solar para elementos da envolvente envidraçada ($A_{s,v}$) representa a área que é utilizada para efeitos de contabilização dos ganhos solares e depende da área total do vão envidraçado (A_W), da fração envidraçada (F_g) e do fator solar de verão (g_v), conforme a Equação (B.31).

$$A_{s,v} = A_W \times F_g \times g_v \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{B.31})$$

Na situação em que os vãos envidraçados interiores são adjacentes a um espaço interior não útil que possua vãos envidraçados, nomeadamente, marquises, estufas, átrios ou similares, aplica-se a Equação (B.32).

$$A_{s,v} = A_{W,int} \times F_{g,int} \times g_{v,int} \times g_{v,enu} \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{B.32})$$

Em que:

- ❖ $A_{W,int}$ representa a área do vão envidraçado interior [m^2];
- ❖ $F_{g,int}$ é o fração envidraçada do vão envidraçado interior;
- ❖ $g_{v,int}$ é o fator solar de verão do vão envidraçado interior;
- ❖ $g_{v,enu}$ é o fator solar de verão do vão envidraçado do espaço interior não útil.

A área efetiva coletora da radiação solar para os elementos da envolvente opaca interior e exterior é determinada conforme as seguintes situações:

- ❖ Envolvente em contacto com o desvão de cobertura ou para fachadas ventiladas:

$$A_{s,v} = \alpha_{sol,c\acute{a}lculo} \times U \times A_{op} \times R_{se} \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{B.33})$$

- ❖ Elementos não previstos na alínea anterior:

$$A_{s,v} = \alpha_{sol} \times U \times A_{op} \times R_{se} \text{ [m}^2\text{]} \quad (\text{B.34})$$

Em que:

- ❖ $\alpha_{sol,c\acute{a}lculo}$ representa a absorptância solar em desvão de cobertura ou fachada ventilada;
- ❖ α_{sol} representa a absorptância solar, cujo valor é obtido através da Tabela 20 do Manual SCE [53];
- ❖ U é o coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente opaca [m^2];
- ❖ A_{op} é a área do elemento da envolvente opaca [m^2];
- ❖ R_{se} é a resistência térmica superficial exterior [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$].

O fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento (η_v) é determinado em função do fator γ_v , que traduz a relação entre os ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$) e a soma das transferências de calor por transmissão pela envolvente ($Q_{tr,v}$) e por ventilação ($Q_{ve,v}$), conforme a Equação (B.35), e do parâmetro que representa a influência da classe de inércia térmica do edifício (α_{it}), obtido através da Tabela 93 do Manual SCE [53].

$$\gamma_v = \frac{Q_{g,v}}{Q_{tr,v} + Q_{ve,v}} \quad (\text{B.35})$$

O cálculo de η_v deve ser efetuado de acordo com as seguintes condições:

- ❖ Se $\gamma_v \neq 1$ e $\gamma_v > 0$:

$$\eta_v = \frac{1 - \gamma_v^{\alpha_{it}}}{1 - \gamma_v^{\alpha_{it} + 1}} \quad (\text{B.36})$$

- ❖ Se $\gamma_v = 1$:

$$\eta_v = \frac{\alpha_{it}}{\alpha_{it} + 1} \quad (\text{B.37})$$

- ❖ Se $\gamma_v < 0$:

$$\eta_v = \frac{1}{\gamma_v} \quad (\text{B.38})$$

O parâmetro α_{it} assume valores diferentes consoante a inércia térmica do edifício:

- Inércia térmica fraca: $\alpha_{it} = 1,8 \text{ W}/^\circ\text{C}$
- Inércia térmica média: $\alpha_{it} = 2,6 \text{ W}/^\circ\text{C}$
- Inércia térmica forte: $\alpha_{it} = 4,2 \text{ W}/^\circ\text{C}$

B.2.2 Edifício de habitação – Referência

A determinação dos parâmetros envolvidos na Equação (3.5) é efetuada de acordo com o seguinte:

- Fator de utilização dos ganhos térmicos de referência ($\eta_{v_{ref}}$) na estação de arrefecimento varia em função da diferença entre a temperatura interior de referência ($\theta_{ref,v}$), que neste caso são 25°C , e a temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$), de acordo com as condições:
 - i. Se $\Delta\theta > 1$:

$$\eta_{v_{ref}} = 0,52 + 0,22 \times \ln(\Delta\theta) \quad (\text{B.39})$$
 - ii. Se $0 < \Delta\theta \leq 1$, então $\eta_{v_{ref}} = 0,45$
 - iii. Se $\Delta\theta \leq 0$, então $\eta_{v_{ref}} = 0,30$
- Os ganhos térmicos brutos de referência por unidade de área ($Q_{g,v_{ref}}/A_p$) determinam-se por aplicação da Equação (B.40)

$$Q_{g,v_{ref}}/A_p = \left[q_{int} \times \frac{L_v}{1000} + g_{v_{ref}} \times (A_w/A_p)_{ref} \times G_{sol_{ref}} \right] [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})] \quad (\text{B.40})$$

Em que:

- ❖ q_{int} representam os ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície e assumem o valor fixo $4 \text{ W}/\text{m}^2$;
- ❖ L_v é a duração da estação de arrefecimento, igual a 2928 [h] ;

- ❖ $g_{v_{ref}}$ é o fator solar de verão de referência, igual a 0,43;
- ❖ $(A_W/A_p)_{ref}$ é a razão entre a área de vãos envidraçados e a área interior útil de pavimento, assumindo o valor fixo de 0,20.
- ❖ $G_{sol_{ref}}$ é a energia solar média incidente de referência acumulada durante a estação de arrefecimento, que corresponde ao valor de G_{sol} para uma superfície orientada a oeste [$kWh/(m^2 \cdot ano)$].

C. Anexo C – Metodologia Manual SCE: Parâmetros térmicos

C.1 Coeficiente de transmissão térmica para a envolvente opaca

A envolvente opaca inclui os elementos: paredes, pavimentos, coberturas, zonas de ponte térmica plana (PTP) e portas. Estes devem ser contabilizados para as trocas térmicas entre os espaços interiores úteis e os demais. Também devem ser tidos em conta os efeitos das pontes térmicas lineares (PTL), devido à ligação entre elementos e da inércia térmica.

A transmissão de calor que ocorre, em regime permanente, através de um elemento construtivo é definida pelo coeficiente global de transmissão térmica (U), que traduz a potência térmica que atravessa 1 m^2 do elemento construtivo por unidade de diferença de temperatura. A sua determinação é feita através da metodologia simplificada prevista na Norma EN ISO 6946.

Para elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, o valor U é determinado pelo inverso da resistência térmica total unitária (R''_{tot} ²⁵) conforme a Equação (C.1).

$$U = \frac{1}{R''_{tot}} [W/(m^2 \cdot K)]^{26} \quad (C.1)$$

A resistência térmica total unitária (R''_{tot}) de um elemento opaco em regime permanente, excluindo portas e elementos em contacto com o solo, inclui as resistências térmicas superficiais unitárias e o somatório das resistências térmicas de todas as camadas que constituem o elemento construtivo. É obtida com base na metodologia indicada na Norma EN ISO 6946.

No caso de um elemento com condição fronteira exterior, deve ser obtida através da Equação (C.2).

$$R''_{tot} = R''_{si} + \sum_j R''_j + R''_{se} [(m^2 \cdot K)/W] \quad (C.2)$$

Para um elemento com condição fronteira interior, as resistências superficiais devem ser ambas interiores, como indicado na Equação (C.3).

$$R''_{tot} = R''_{si} + \sum_j R''_j + R''_{si} [(m^2 \cdot K)/W] \quad (C.3)$$

Em que:

- ❖ R''_{si} é a resistência térmica superficial interior unitária, em $[(m^2 \cdot K)/W]$;
- ❖ R''_j é a resistência térmica unitária da camada j , em $[(m^2 \cdot K)/W]$
- ❖ R''_{se} é a resistência térmica superficial exterior unitária, em $[(m^2 \cdot K)/W]$

²⁵ Assume-se a simbologia R'' que representa a resistência térmica unitária, em $[m^2 \cdot K/W]$, em vez da simbologia adotada no Despacho nº6476-H/2021, R , que representa a resistência térmica absoluta, em $[K/W]$. Deste modo, existe concordância na unidade final do coeficiente de transmissão de calor U $[W/m^2 \cdot K]$.

²⁶ A unidade de medida definida no Despacho nº 6476-H/2021 para o coeficiente global de transmissão de calor U é $W/m^2 \cdot ^\circ C$. No entanto, sendo que a diferença de temperatura de $1^\circ C$ é a mesma que $1 K$, ou seja, $\Delta T (^\circ C) = \Delta T (K)$, assume-se a unidade do Sistema Internacional, em $W/m^2 \cdot K$.

A resistência térmica de uma camada de um material homogéneo (R_j''), ou seja, um material de espessura constante e propriedades térmicas uniformes, é dado pela relação entre a sua espessura (d_j) e a sua condutibilidade térmica (λ_j), conforme a Equação (C.4).

$$R_j'' = \frac{d_j}{\lambda_j} [(m^2 \cdot K)/W] \quad (C.4)$$

Em que:

- ❖ d_j é a espessura da camada j [m];
- ❖ λ_j é a condutibilidade térmica da camada j [$W/(m \cdot ^\circ C)$].

As resistências térmicas superficiais unitárias exteriores (R_{se}'') e interiores (R_{si}'') tomam os valores indicados na Tabela 23 do Manual SCE, cujos valores dependem do sentido do fluxo de calor e a posição do elemento [53].

Para a determinação do coeficiente de transmissão térmica dos elementos em contacto com o solo, nomeadamente pavimentos (U_{bf}) e paredes (U_{bw}) devem ser caracterizados os seguintes parâmetros:

- R_f'' e R_w'' que representam as resistências térmicas unitárias de todas as camadas do pavimento e da parede, respetivamente, excluindo as resistências térmicas superficiais unitárias [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];
- D representa a largura do isolamento perimetral horizontal ou profundidade do isolamento perimetral vertical [m];
- z_{solo} representa a profundidade média da parede ou do pavimento em contacto com o solo [m];
- B' que representa a dimensão característica do pavimento em contacto com o solo, dada pela razão entre a área interior útil de pavimento em contacto com o solo, medida pelo interior ($A_{p,solo}$), e 1/2 do perímetro exposto (P), que é caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço interior útil do exterior, de um espaço interior não útil, de um edifício adjacente e do solo, medido pelo interior [m].

Tendo conhecimento destes parâmetros é possível obter os valores tabelados através das Tabelas 27 a 30 do Manual SCE [53].

O coeficiente de transmissão térmica das portas (U_D) é determinado conforme a norma EN ISO 10077-1, de acordo com a Equação (C.5). Consideram-se portas opacas aquelas que apresentem uma área envidraçada inferior a 25% da sua área total.

$$U_D = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum A_{po} \cdot U_{po} + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_{po} \cdot \Psi_{po} + \sum l_{gb} \cdot \Psi_{gb}}{A_W} \quad (C.5)$$

$[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$

Em que:

- ❖ U_D representa o coeficiente de transmissão térmica da porta [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- ❖ U_g representa o coeficiente de transmissão térmica da área transparente [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- ❖ U_f representa o coeficiente de transmissão térmica do caixilho [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- ❖ U_{po} representa o coeficiente de transmissão térmica da área opaca [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- ❖ A_{po} representa a área opaca [m^2];
- ❖ A_g representa a área transparente [m^2];

- ❖ A_f representa a área do caixilho [m^2];
- ❖ Ψ_g representa o coeficiente de transmissão térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
- ❖ Ψ_{po} representa o coeficiente de transmissão térmica linear da ligação da área opaca com o caixilho [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
- ❖ Ψ_{gb} representa o coeficiente de transmissão térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar [$W/(m \cdot ^\circ C)$];
- ❖ l_g representa o desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho [m];
- ❖ l_{po} representa o desenvolvimento linear da ligação da área opaca com o caixilho [m];
- ❖ l_{gb} representa o desenvolvimento linear da quadrícula inserida no espaço de ar [m].

Os parâmetros necessários ao cálculo da Equação (C.5) são obtidos pelos fabricantes, cuja determinação é feita através de cálculos ou ensaios laboratoriais conforme a norma EN 14351-1+A2 e EN 14351-2, ou através dos valores por defeito indicados na secção 8.1 do Manual SCE. Para o coeficiente U_D podem assumir-se os valores por defeito apresentados na Tabela 32 do mesmo manual, na ausência de informação [53].

C.2 Pontes térmicas lineares (PTL)

As pontes térmicas lineares (PTL) correspondem à concentração de fluxo de calor nas ligações entre elementos construtivos com diferentes geometrias ou propriedades térmicas. A importância da sua caracterização permite evitar a ocorrência de condensações superficiais e de patologias no interior do edifício. São caracterizadas através do coeficiente de transmissão térmica linear (ψ), cujo valor pode ser obtido com recurso a valores tabelados para soluções construtivas típicas, determinados conforme a Norma EN ISO 10211, como indicado na Tabela 33 do Manual SCE. Na ausência de informação, e com exceção dos edifícios novos, pode ser obtido através dos valores por defeito indicados na Tabela 34 do mesmo manual [53].

C.3 Inércia térmica

A inércia térmica interior representa a capacidade que os elementos construtivos apresentam para armazenar calor e varia em função da massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento (I_t) como indicado na Equação (C.6).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \times r_i \times S_i}{A_p} \quad [kg/m^2] \quad (C.6)$$

Em que:

- ❖ M_{si} é a massa superficial útil do elemento i [kg/m^2];
- ❖ r_i é o fator de redução da massa superficial útil do elemento i ;
- ❖ S_i é a área da superfície interior do elemento i [m^2];
- ❖ A_p é a área interior útil de pavimento [m^2];

As classes de inércia térmica variam em função do parâmetro I_t :

- Classe de inércia térmica fraca: $I_t < 150 \text{ kg/m}^2$
- Classe de inércia térmica média: $150 \leq I_t \leq 400 \text{ kg/m}^2$

→ Classe de inércia térmica forte: $I_t > 400 \text{ kg/m}^2$

Na ausência de informação relativa aos outros parâmetros envolvidos na Equação (C.6), é possível determinar de forma simplificada a classe de inércia térmica através de soluções típicas verificadas no edifício, como indicado na Tabela 41 do Manual SCE [53].

C.4 Coeficiente de redução (b_{ztu})

O coeficiente de redução do espaço interior não útil (b_{ztu}) quantifica as trocas térmicas por um elemento com condição fronteira interior através das temperaturas dos dois ambientes separados por este. A sua determinação segue a metodologia prevista na Norma EN ISO 13789, conforme a Equação (C.7).

$$b_{ztu} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}} \quad (C.7)$$

Em que:

- ❖ θ_{int} representa a temperatura interior [°C];
- ❖ θ_{ext} representa a temperatura ambiente exterior [°C];
- ❖ θ_{enu} representa a temperatura do espaço interior não útil [°C];

Na situação em que não é possível conhecer a temperatura do espaço interior não útil (θ_{enu}), assumem-se os valores indicados na Tabela 16 do Manual SCE [53]. A escolha do b_{ztu} a partir desta varia em função da razão A_i/A_u , onde A_i representa o somatório das áreas dos elementos de todas as frações de habitação que separam os respetivos espaços interiores úteis do espaço interior não útil e A_u representa o somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior; do volume do espaço interior não útil (V_{enu}) e do tipo de ventilação existente no espaço interior não útil, forte (F) ou fraca (f).

