



INFLUÊNCIA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

BRUNO MIGUEL LEAL VERÍSSIMO

Junho de 2019

INFLUÊNCIA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

BRUNO MIGUEL LEAL VERÍSSIMO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Eng.^ª Teresa Isabel Moreira de Carvalho Amorim Neto Silva

JUNHO DE 2019

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xvii
Glossário.....	xxi
Abreviaturas	xxv
CAPÍTULO 1 Introdução.....	27
CAPÍTULO 2 Estado da Arte.....	35
CAPÍTULO 3 Caso de Estudo.....	59
CAPÍTULO 4 Análise Económica	111
CAPÍTULO 5 Considerações Finais.....	119
Referências Bibliográficas	123
Anexo I – Zonas Climáticas	125
Anexo II – Coeficientes de Transmissão Térmica	127
Anexo III – Renovação de Ar – LNEC	133
Anexo IV – Folhas de Cálculo.....	137
Anexo V – Período de Retorno	151
Anexo VI – Fichas Técnicas	157

RESUMO

Numa altura em que os consumos de energia aumentam e o conceito de sustentabilidade ganha cada vez mais relevância, a eficiência energética têm um papel fundamental na otimização dos consumos de energia, estimulando a sua utilização de modo eficiente e conseguindo-se, assim, reduzir as emissões provocadas pela sua produção através de combustíveis fósseis.

Os edifícios representam significativamente o consumo de energia no planeta e por isso é um setor a ter em consideração na melhoria da sua gestão. Parte desta energia consumida é utilizada para o aquecimento e arrefecimento dos espaços interiores. Necessidade esta, que advém da variação da temperatura dos ambientes através de trocas de calor por radiação, convecção e condução pela envolvente dos edifícios. Na maioria dos casos, os vãos envidraçados são o constituinte da envolvente mais frágil e mais propício a estas trocas e desta forma torna-se fundamental o estudo da influência destes elementos construtivos no desempenho térmico dos edifícios.

A presente dissertação procura estudar a influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios de habitação. Para isso, serão analisados fatores como a localização, orientação, elementos dos vãos envidraçados e sombreamento, tendo em conta a regulamentação atual. Para a realização deste estudo, foi concebido um edifício protótipo com simples geometria e elementos envidraçados de grande dimensão presentes apenas na fachada principal. Considerando vários tipos de caixilharia e vidro e após a análise dos vários fatores, conclui-se que o uso de vãos envidraçados de grande dimensão beneficia as necessidades energéticas de aquecimento, sendo mais eficiente a sua orientação a sul. O vidro de controlo solar tem um papel importante na redução dos ganhos solares de verão quando os envidraçados não apresentam um sombreamento adequado. O sombreamento móvel é muito útil em edifícios expostos à radiação solar permitindo a maximização dos ganhos solares de inverno (desativado) e a redução dos ganhos solares de verão (ativado), proporcionando ao edifício um melhor desempenho energético nas duas estações.

Palavras-chave: eficiência energética, desempenho térmico, envolvente, vão envidraçado, orientação, ganhos solares, sombreamento.

ABSTRACT

In a time where energy consumption rises and the concept of sustainability is ever more relevant, energetic efficiency has a key role in the optimization of energy consumption, stimulating its use in an efficient manner, and thus reducing emissions caused by its production through fossil fuels.

Buildings represent a significant portion of energy consumption in the planet, as such, it is a sector worth considering a better management of. Part of this energy is consumed and used in the heating and cooling of interiors. This need originates in the variation of temperature in the environment through heat exchanges caused by radiation, convection and conduction through the building's envelope. In most cases, glazed spans are the most fragile constituent of the envelope and the most conducive to these exchanges, and as such, the study of the influence of these constructive elements in the thermic performance of buildings becomes fundamental.

The main purpose of this dissertation is to study the influence of glazed spans on the thermal performance of residential buildings. Therefore, factors like location, orientation, glazed spans elements and shading will be analysed, having in consideration the current regulation. For the accomplishment of this study, a prototype building was conceived, with a simple geometry and large windows being present only on the main facade. After analysing the various factors, considering different types of frames and glass, it's concluded that the use of large glazed spans benefits the necessary energy for heating, being more efficient if its facing south. The solar control glass has an important role in the reduction of summer gains when windows have no adequate shading. Mobile shading is very useful in buildings exposed to solar radiation, allowing the maximization of solar gains in winter (deactivated) and the reduction of solar gains in summer (activated), providing the building with a better energy performance in both seasons.

Keywords: energy efficiency, thermal performance, envelope, glazed spans, orientation, solar gains, shading.

AGRADECIMENTOS

À orientadora deste trabalho, Engenheira Teresa Neto, pelo apoio e disponibilidade ao longo de todo o percurso desta etapa.

A todos os docentes do mestrado de Engenharia Civil, pela partilha de conhecimento.

Aos amigos e antigos companheiros de trabalho, que de alguma forma contribuíram na minha chegada até aqui.

Aos meus Pais, pois sem eles nada era possível, ao meu irmão, à Sílvia e toda a minha família.

Um Muito Obrigado!

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	27
1.1	Considerações Iniciais.....	27
1.2	Objetivos.....	28
1.3	Estruturação do Trabalho.....	28
1.4	Considerações Gerais.....	29
CAPÍTULO 2	Estado da Arte.....	35
2.1	Princípios Básicos da Transmissão de Calor.....	35
2.1.1	Condução.....	35
2.1.2	Convecção.....	36
2.1.3	Radiação.....	37
2.2	Trocas de Calor nos Vãos Envidraçados.....	38
2.3	Geometria Solar.....	39
2.4	Vãos Envidraçados.....	40
2.4.1	Caixilharia.....	41
2.4.2	Vidro.....	49
2.4.3	Proteção solar e sombreamento.....	53
2.4.4	Requisitos de marcação CE.....	56
2.4.5	Etiqueta CLASSE+.....	57
CAPÍTULO 3	Caso de Estudo.....	59
3.1	Caracterização do Edifício Protótipo.....	59
3.2	Zonas Climáticas.....	63
3.3	Definição de Envolvente.....	65

3.4	Requisitos de Qualidade Térmica	67
3.4.1	Coeficiente de transmissão térmica superficial, U	67
3.4.2	Inércia térmica	79
3.4.3	Fator solar	81
3.4.4	Pontes térmicas lineares (PTL).....	84
3.4.5	Renovação de ar	86
3.4.6	Ganhos solares.....	88
3.5	Necessidades Nominais de Energia	92
3.5.1	Orientação	92
3.5.2	Localização.....	94
3.5.3	Caixilharia.....	96
3.5.4	Vidro	99
3.5.5	Sombreamento móvel	104
3.5.6	Resumo	108
CAPÍTULO 4	Análise Económica	111
CAPÍTULO 5	Considerações Finais	119
5.1	Conclusões	119
5.2	Desenvolvimentos Futuros	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Consumo final por setor de atividade em Portugal, 2016. (1)	31
Figura 1.2 – Consumo final no setor doméstico por fonte de energia em Portugal, 2016. (1)	31
Figura 1.3 – Consumo de eletricidade por setor de atividade em Portugal, 2016. (1)	32
Figura 1.4 – Perdas de calor típicas de numa habitação. (2).....	32
Figura 2.1 – Mecanismos de transmissão de calor.	35
Figura 2.2 – Trocas de calor nos vãos envidraçados.	38
Figura 2.3 – Percurso do sol no verão. (3).....	40
Figura 2.4 – Percurso do sol no inverno. (3).....	40
Figura 2.5 – Alçado de vão envidraçado fixo.....	42
Figura 2.6 – Alçado de vãos envidraçados de abertura lateral.	42
Figura 2.7 – Alçado de vão envidraçado basculante.	43
Figura 2.8 – Alçado de vão envidraçado projetante.	43
Figura 2.9 – Alçado de vãos envidraçados de oscilo-batente.	43
Figura 2.10 – Alçado de vão envidraçado de oscilo-paralela.	44
Figura 2.11 – Alçado de vão envidraçado pivotante.	44
Figura 2.12 – Alçado e planta de vão envidraçado harmónio.....	45
Figura 2.13 – Alçado de vãos envidraçados de correr.....	45
Figura 2.14 – Alçado de vão envidraçado de guilhotina.	46
Figura 2.15 – Alçado de vão envidraçado composto.	46
Figura 2.16 – Caixilharia de alumínio com rotura térmica. (4).....	47
Figura 2.17 – Caixilharia de PVC com reforços. (5)	47
Figura 2.18 – Caixilharia de madeira. (6).....	48

Figura 2.19 – Caixilharia de fibra de vidro. (7).....	49
Figura 2.20 – Caixilharia mista alumínio/madeira. (4)	49
Figura 2.21 – Constituintes de um vidro duplo (11).....	52
Figura 2.22 – Pala horizontal metálica. (12)	53
Figura 2.23 – Laminas solares móveis. (4).....	54
Figura 2.24 – Sistema de portada de laminas orientáveis. (4)	54
Figura 2.25 –Brisa solar metálica. (13)	55
Figura 2.26 – Estore em alumínio compacto. (14)	55
Figura 2.27 – Tela de rolo com guia lateral. (13).....	56
Figura 2.28 – Etiqueta CLASSE+. (16).....	58
Figura 2.29 – Redução do consumo de energia associado às janelas de acordo com a classe. (16)	58
Figura 3.1 – Fachada frontal e lateral esquerda.....	59
Figura 3.2 – Fachada posterior e lateral direita.	60
Figura 3.3 – Planta de rés do chão.	61
Figura 3.4 – Alçado principal, posterior, lateral esquerdo e lateral direito.	62
Figura 3.5 – Corte longitudinal e transversal.....	62
Figura 3.6 – Simbologia e códigos de cores da marcação da envolvente.	65
Figura 3.7 – Plantas com definição da envolvente.....	66
Figura 3.8 – Cortes com a definição da envolvente.	66
Figura 3.9 – Pormenor construtivo base das paredes exteriores.....	68
Figura 3.10 – Pormenor construtivo base da cobertura.	69
Figura 3.11 – Pormenor construtivo base do pavimento.....	70
Figura 3.12 – Pormenor construtivo base das pontes térmicas planas (viga e pilar).....	72
Figura 3.13 – Planta da estrutura do edifício em estudo.	72
Figura 3.14 – Pormenor da parede interior.....	73
Figura 3.15 – Ângulo de sombreamento.	83
Figura 3.16 – Simbologia de marcação das PTL.....	84

Figura 3.17 – Planta e cortes com marcação das PTL.	85
Figura 3.18 – Ganhos solares na estação de arrefecimento em função da orientação.....	94
Figura 3.19 – Necessidades de energia na estação de aquecimento em função da localização.	96
Figura 3.20 – Necessidades de energia na estação de arrefecimento em função da localização.	96
Figura 3.21 – Necessidades de energia no município de Montalegre em função da caixilharia.	99
Figura 3.22 – Ganhos solares pelos envidraçados na estação de arrefecimento para Évora e Montalegre.	101
Figura 3.23 – Transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior na estação de aquecimento para o Município de Évora e Montalegre.	101
Figura 3.24 – Ângulo de obstrução do toldo.....	104
Figura 3.25 – Necessidades de energia de aquecimento para o município de Évora.....	105
Figura 3.26 – Necessidades de energia de arrefecimento para o município de Évora.....	106
Figura 3.27 – Necessidades de energia de aquecimento para o município de Montalegre.....	106
Figura 3.28 – Necessidades de energia de arrefecimento para o município de Montalegre.	107

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Propriedades do vidro. (8)	50
Tabela 2.2 – Alguns dos ensaios de tipo inicial para sistemas de janelas e portas. (15)	57
Tabela 3.1 – Localizações e altitudes a estudar.	63
Tabela 3.2 – Parâmetros climáticos para a estação de aquecimento.....	64
Tabela 3.3 – Parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento.	64
Tabela 3.4 – Valores de $U_{máx}$ para os elementos da envolvente.	67
Tabela 3.5 – Valores de U para as paredes exteriores.....	69
Tabela 3.6 – Valores de U para a cobertura.....	70
Tabela 3.7 – Valores de U para o pavimento.	71
Tabela 3.8 – Valores de U para as PTP.	73
Tabela 3.9 – Caixilharias a estudar.	74
Tabela 3.10 – Composições de vidro a estudar.....	74
Tabela 3.11 – Dispositivo de proteção solar a estudar.	75
Tabela 3.12 – Valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro.	76
Tabela 3.13 – Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados.	76
Tabela 3.14 – Classes de inércia térmica.....	79
Tabela 3.15 – Fator de redução da massa superficial, r	80
Tabela 3.16 – Cálculo da inércia térmica.....	81
Tabela 3.17 – Fator solar global máximo admissível.....	82
Tabela 3.18 – Relação de áreas de envidraçado e pavimento por compartimento.	82
Tabela 3.19 – Fatores solares dos vidros com estore veneziano de lâminas metálicas corrigidos.	82

Tabela 3.20 – Fatores de sombreamento horizontais e verticais na estação de arrefecimento.	83
Tabela 3.21 – Verificação dos fatores solares máximos admissíveis.	83
Tabela 3.22 – Coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [W/(m.°C)] e respetivos comprimentos..	86
Tabela 3.23 – Caudais a extrair dos compartimentos.	86
Tabela 3.24 – Taxas de renovação de ar R_{ph}	87
Tabela 3.25 – Fator solar de inverno em função do tipo de vidro.	88
Tabela 3.26 – Fator de sombreamento horizonte F_h	89
Tabela 3.27 – Fatores de sombreamento em função da orientação.	89
Tabela 3.28 – Fatores de sombreamento corrigidos.....	90
Tabela 3.29 – Fatores solares de verão dos envidraçados com estore veneziano de lâminas metálicas..	91
Tabela 3.30 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento em função da orientação.	92
Tabela 3.31 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento em função da localização.	94
Tabela 3.32 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função da caixilharia.	97
Tabela 3.33 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função da caixilharia.....	97
Tabela 3.34 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função do tipo de vidro.	100
Tabela 3.35 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função do tipo de vidro.	100
Tabela 3.36 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função do tipo de caixilharia com vidro T3.	102
Tabela 3.37 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função do tipo de caixilharia com vidro T3.	103
Tabela 3.38 – Fator de sombreamento para a orientação sul.	105
Tabela 3.39 – Influência dos fatores analisados.....	108
Tabela 4.1 – Custo de investimento das caixilharias, [€].....	112

Tabela 4.2 – Custo de investimento dos vidros, [€].	112
Tabela 4.3 – Consumos anuais de energia para Évora e Montalegre, [kWh/(m ² .ano)].....	112
Tabela 4.4 – Despesa anual do consumo de energia para climatização para Évora e Montalegre, [€]...	113
Tabela 4.5 – Consumos e custos anuais de energia para Évora.....	113
Tabela 4.6 – Consumos e custos anuais de energia para Montalegre.....	114
Tabela 4.7 – Consumos e custos anuais de energia para Évora em função do tipo de caixilharia.	115
Tabela 4.8 – Consumos e custos anuais de energia para Montalegre em função do tipo de caixilharia.	115
Tabela 4.9 – Período de retorno em função da caixilharia para Évora e Montalegre.	116

GLOSSÁRIO

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados do compartimento, [m²]

A_f – Área do caixilho, [m²]

A_g – Área do vidro, [m²]

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior, [m²]

A_p – Área do pavimento útil interior, [m²]

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento, [m²]

$A_{s,i_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , na estação de aquecimento, [m²]

$A_{s,v_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , na estação de arrefecimento, [m²]

A_w – Área total do vão envidraçado, [m²]

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas

e – Espessura da placa, [m]

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão envidraçado

$F_{s,i_{nj}}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com a orientação j na estação de aquecimento

$F_{s,v_{nj}}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n , com orientação j na estação de arrefecimento

$F_{w,v}$ – Fator de correção de seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento

GLOSSÁRIO

GD – Números de graus-dias, [°C.dia]

g_i – Fator solar do vão envidraçado na estação de aquecimento

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados

$g_{Tmáx}$ – Fator solar global máximo admissível nos vãos envidraçados

g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes

g_{tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar

$g_{L,vi}$ – Fator solar do vidro conforme informação do fabricante

G_{Sul} – Energia solar média mensal durante a incidente numa superfície vertical orientada a Sul durante a estação de aquecimento, [kWh/(m².mês)]

g_v – Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento

h - Coeficiente de condutância térmica superficial por convecção, [W/(m².°C)]

I_{Sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal e em superfícies verticais para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²]

j – Índice que corresponde a cada uma das orientações

l_g – Perímetro de ligação entre a caixilharia e o vidro, [m]

M – Duração média da estação convencional de aquecimento, [meses]

M_{S_i} – Massa superficial útil do elemento i , [Kg/m²]

n – Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j

N_{ic} – Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [kWh/(m².ano)]

N_i – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [kWh/(m².ano)]

N_{vc} – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, [kWh/(m².ano)]

N_v – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, [kWh/(m².ano)]

Q – Fluxo de calor [W]

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{g,v}$ – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kWh]

$Q_{sol,i}$ – Ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{sol,v}$ – Ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da incidência da radiação solar na envolvente opaca e envidraçada, [kWh]

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{tr,v}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [kWh]

$Q_{ve,i}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh]

$Q_{ve,v}$ – Transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, [kWh]

r – Fator de redução da massa superficial útil

R_{ph} – Valor de renovações por hora [h^{-1}]

R_j – Resistência térmica da camada j , [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior igual a 0,04 [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]

R_{si} – Resistência térmica interior, [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$];

S – Área de superfície do elemento ou corpo [m^2]

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

T – Temperatura do corpo [K]

t_e, t_i – Temperaturas superficiais do elemento [K ou $^\circ C$]

t_f – Temperatura do fluido [$^\circ C$]

t_s – Temperatura da superfície do sólido [$^\circ C$]

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_f – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

$U_{m\acute{a}x}$ – Coeficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_n – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado mais proteção, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_{PTP} – Coeficiente de transmissão térmica da ponte térmica plana, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_w – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite, [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

GLOSSÁRIO

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições

ΔR – Resistência térmica adicional, [(m².°C)/W]

α – Coeficiente de absorção

δ – Coeficiente de transmissão

ε – Emissividade

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média, [°C]

λ – Condutibilidade térmica do elemento [W/(m.°C)]

ρ – Coeficiente de reflexão

σ - Constante de Stefan-Boltzman [5,67x10⁻⁸ W/(m².K⁴)]

ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear, [W/(m.°C)]

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro, [W/(m.°C)]

ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DIPRE – Dissertação/ Projeto/ Estágio

CERTIF – Associação para a Certificação

CIP – Controlo interno de produção

EPS – Poliestireno expandido

ETI – Ensaio tipo iniciais

GEE – Gases de efeito estufa

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

NUTS – Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos

NZEB – Edifícios de necessidades nulas de energia

PTL – Ponte térmica linear

PTP – Ponte térmica plana

PVC – Policloreto de vinilo

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS – Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço

RPC – Regulamento dos Produtos de Construção

SEEP – Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno expandido extrudido

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A presente dissertação foi elaborada no âmbito da unidade curricular Dissertação, Projeto, Estágio (DIPRE), do 2º semestre, do 2º ano do curso de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Construções, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), com o tema “Influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico de edifícios de habitação”.

Os edifícios representam parte significativa do consumo de energia do nosso planeta, na Europa estes são responsáveis por cerca de 40% e em Portugal cerca de 30% do consumo de energia. Esta energia em parte provém de fontes não renováveis como o carvão, petróleo e gás natural, que são cada vez mais escassos e apresentam impactos significativos para o ambiente que nos rodeia e para o nosso próprio planeta.

Com as metas estabelecidas a nível europeu em relação à redução dos consumos de energia e de libertação de gases de efeito de estufa e à utilização de energias renováveis é de grande importância a otimização do desempenho energético dos edifícios, no que diz respeito aos consumos e fontes de energia utilizadas, bem como à sua sustentabilidade económica e ao conforto dos seus ocupantes.

O desempenho térmico dos edifícios tem influência direta no consumo de energia para climatização dos ambientes interiores. A envolvente é a principal barreira de trocas de calor entre o ambiente interior e exterior e a melhoria da sua resistência térmica permite reduzir o consumo de combustíveis no aquecimento e arrefecimento dos espaços. Grande parte da envolvente é constituída por vãos envidraçados, que em geral é o elemento construtivo mais frágil de um edifício em termos de estanquidade ao ar e perdas térmicas, por outro lado são também importantes para a contabilização dos ganhos de calor, sobretudo na época de aquecimento. Além de influenciarem o comportamento térmico, estes elementos permitem a penetração de iluminação natural, também um fator considerado, embora de forma indireta, no desempenho energético dos edifícios.

Na elaboração desta dissertação, pretende-se analisar o comportamento térmico de um protótipo de edifício de habitação, em diferentes localizações, orientações e constituição de vãos envidraçados, à luz

da regulamentação atual, incluindo a recente Portaria 97/2019 de 2 de abril, relativa aos edifícios com necessidades quase nulas de energia, conhecidos por NZEB.

1.2 OBJETIVOS

Os principais objetivos a atingir com o desenvolvimento deste trabalho são:

- Melhorar o conhecimento da legislação nacional relativa desempenho energético dos edifícios de habitação;
- Estudar e analisar diferentes soluções para vãos envidraçados, desde caixilharia, vidro e proteções solares interiores e exteriores;
- Conceber um protótipo de edifício de habitação que permita uma maior clareza e interpretação de resultados;
- Conceber soluções construtivas em conformidade com as exigências impostas pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) em diferentes zonas climáticas;
- Aplicação da legislação no protótipo criado, analisando as diferentes localizações, orientações, vãos envidraçados considerados no estudo;
- Analisar e avaliar o impacto energético e económico dos resultados, assim como o tempo de retorno do investimento das soluções determinadas para o caso de estudo, face a uma solução de fraca qualidade.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A dissertação está organizada em cinco capítulos.

No presente capítulo são apresentadas as considerações iniciais, os objetivos do trabalho, a sua estruturação e algumas considerações gerais relacionadas com o tema.

O capítulo dois engloba uma descrição sobre os mecanismos de transmissão de calor e a sua relação com os vãos envidraçados, o conceito de geometria solar e o seu funcionamento em Portugal, a constituição dos vãos envidraçados, as suas tipologias correntes e principais características. Por fim é apresentado os principais requisitos funcionais e ensaios para a certificação de caixilharias e sua classificação energética em Portugal.

No capítulo três é apresentado o edifício protótipo, sendo analisado o seu desempenho térmico e energético com: diferentes localizações, orientações, soluções construtivas e tipologias de vãos envidraçados. São ainda demonstradas as metodologias e cálculos previstos na aplicação da

regulamentação para os vários casos de estudo, os valores obtidos para os diferentes indicadores e parâmetros que nos permitem avaliar os consumos necessários para o conforto interior, incluindo a apresentação e análise dos resultados obtidos relativamente às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento.

O quarto capítulo é destinado ao estudo da viabilidade económica das soluções determinadas, analisando o período de retorno do investimento face a uma solução de fraca qualidade.

O quinto, e último capítulo, é destinado às considerações finais e desenvolvimentos futuros relativos ao estudo protagonizado.

1.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As preocupações ambientais levaram à imposição de metas e objetivos aos países no combate às alterações climáticas e na redução da emissão de gases efeito estufa. A União Europeia traçou os seus objetivos em matéria de políticas energéticas e climáticas, promovendo as energias renováveis e a redução dos consumos energéticos. Uma das metas é o objetivo “UE 20-20-20”, com o fim de reduzir 20% das emissões de GEE, atingir 20% de energia proveniente de fontes renováveis e o aumento de 20% da eficiência energética até 2020. Tendo já imposto metas energéticas e climáticas a cumprir até 2030 e 2050:

- 40% de redução das emissões de gases efeito de estufa até 2030;
- Pelo menos 32% da energia da UE ter origem de fontes renováveis em 2030;
- Aumento da eficiência energética em cerca de 32,5% até 2030;
- Aumento de 15% da interligação elétrica entre países da UE até 2030;
- Redução das emissões de gases efeito estufa em cerca de 80-95%, face aos níveis de 1990 até 2050.

A Comissão Europeia apresentou a Diretiva Europeia 2002/91/CE, de maneira a tornar o parque edificado mais sustentável, destacando o aumento das exigências relativas ao consumo energético dos edifícios novos e a identificação de melhorias do consumo dos existentes, através de metodologias de cálculo, requisitos mínimos, certificação energética e inspeção de equipamentos e instalações. Esta foi revista em 2010 com a aprovação da Diretiva 2010/31/CE, que surge em Portugal, através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e com ele o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS).

CAPÍTULO 1

Em final de maio de 2018, o Conselho Europeu aprovou a proposta de revisão da Diretiva Europeia para o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD), que foi publicada no Jornal Oficial da União Europeia em 19 de junho de 2018. Os Estados-Membros têm 20 meses para a transpor para a sua lei nacional.

A revisão desta diretiva irá com certeza trazer um reforço da importância do desempenho energético dos edifícios novos e reabilitados, através nomeadamente dos seguintes objetivos:

- Procurar reduzir das emissões de carbono;
- Impor medidas a introduzir na reabilitação de edifícios, considerando a sustentabilidade das opções tomadas face ao cenário de carência energética existente em muitos países da Europa;
- Continuar a definir requisitos que procurem evitar a ocorrência de condensações e a assegurar o conforto térmico e visual;
- Definir um indicador de inteligência para os edifícios;
- Simplificar as inspeções dos sistemas de aquecimento e de ar condicionado;
- Promover a mobilidade elétrica, prevendo a obrigatoriedade da instalação de infraestruturas e pontos de carregamentos para veículos elétricos nos novos edifícios.

De acordo com o balanço energético de 2016, publicado pela Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), o consumo de energia primária em Portugal diminuiu 1,7% em relação a 2015 enquanto consumo de energia final aumentou 0,5% (1).

A aposta nas fontes de energia renováveis em Portugal em particular a hídrica e eólica, resultou, numa redução da dependência energética do exterior, aumento da produção doméstica de energia e redução das emissões de GEE nos últimos anos. Contudo, Portugal apresenta uma dependência energética elevada, cerca de 80%, derivado à importação de combustíveis fósseis como o petróleo e gás natural (1).

No ano 2016 em Portugal o consumo de energia final no setor doméstico foi de 16,7%, conforme podemos verificar na figura 1.1, onde é representado o consumo final por setor de atividade económica.

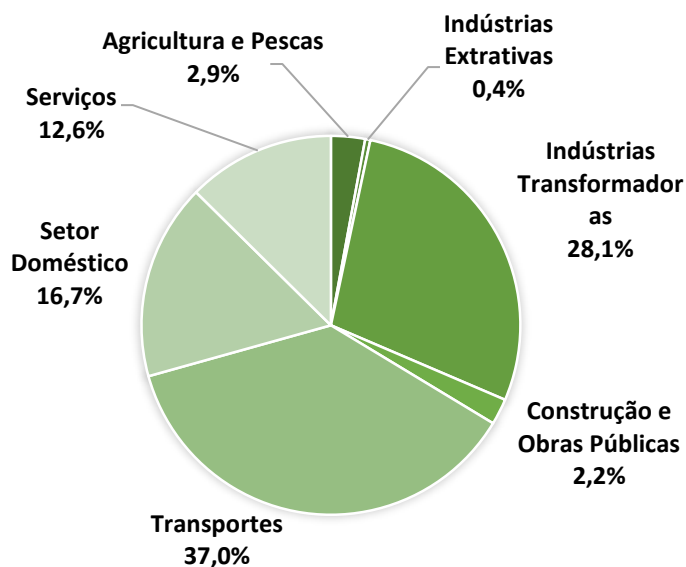


Figura 1.1 – Consumo final por setor de atividade em Portugal, 2016. (1)

Na figura 1.2 estão indicadas as fontes de energia resultantes do consumo final no setor doméstico, com destaque para a eletricidade com 43,6% e lenhas e resíduos vegetais com 29,6% do consumo total doméstico.

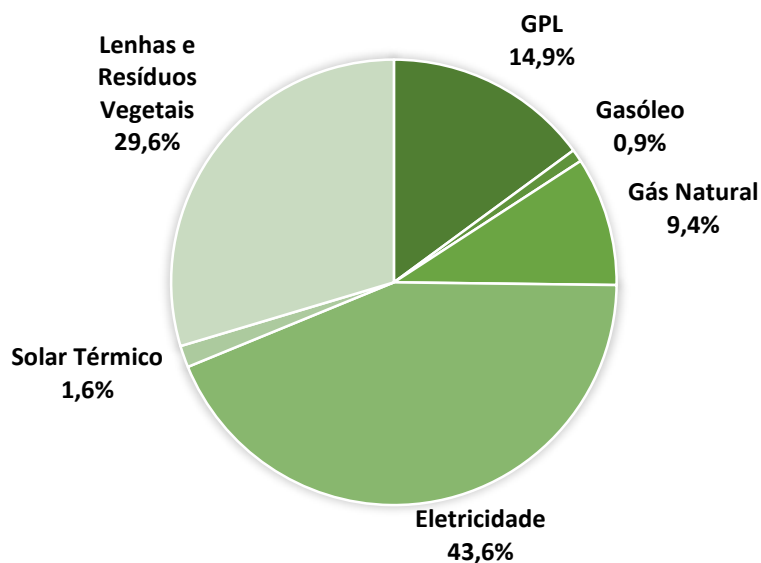


Figura 1.2 – Consumo final no setor doméstico por fonte de energia em Portugal, 2016. (1)

As lenhas e resíduos vegetais são uma fonte sustentável de energia desde que o CO₂ lançado durante a sua combustão seja retirado da atmosfera posteriormente pela vegetação. Esta fonte de energia renovável juntamente com o solar térmico, representam 31,2% do consumo final doméstico.

De acordo com a DGEG, o consumo de eletricidade em 2016 registou um aumento de 1% face a 2015 e espera-se também um aumento em 2017 de acordo com o balanço energético provisório. A figura 1.3 demonstra o consumo de energia elétrica por setor de atividade no ano 2016, em que o setor doméstico

é responsável por 28% do consumo total de eletricidade em Portugal, por esse motivo é um setor com grande potencialidade de aplicação de medidas de eficiência energética.

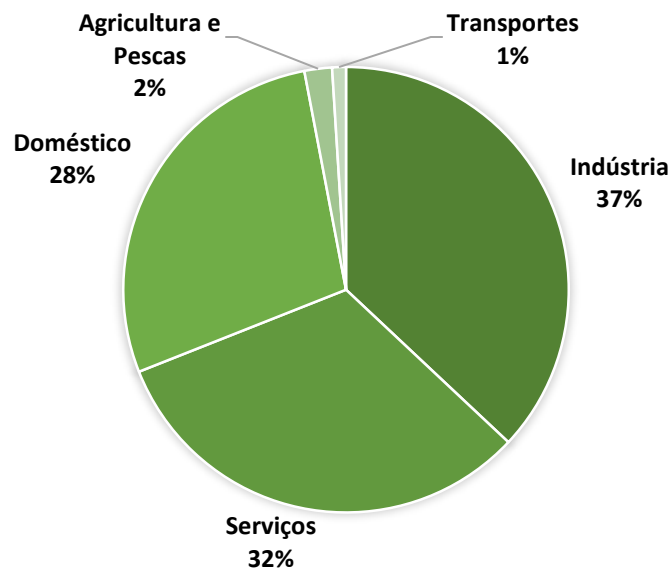


Figura 1.3 – Consumo de eletricidade por setor de atividade em Portugal, 2016. (1)

Grande parte desta energia é consumida na climatização dos edifícios (aquecimento e arrefecimento), para melhorar a comodidade dos seus ocupantes. Esta necessidade advém principalmente das perdas térmicas do edifício para o ambiente exterior através da envolvente, por intermédio das paredes, pavimentos, cobertura, envidraçados, pontes térmicas e ventilação.

De acordo com dados do Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), na figura 1.4 está representado as perdas de calor típicas de uma habitação T3 com 136 m² de área útil situada no último piso de um edifício multifamiliar.

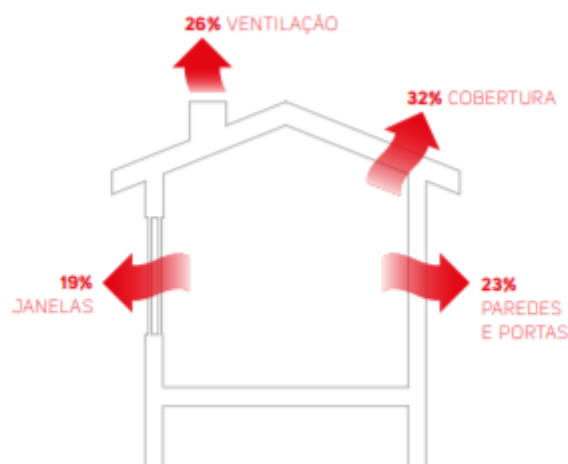


Figura 1.4 – Perdas de calor típicas de numa habitação. (2)

Segundo o SCE, as coberturas representam cerca de um terço das perdas térmicas numa habitação, seguido pela ventilação com 26%, as paredes e portas com 23% e as janelas com 19%. Desta forma um bom desempenho térmico da envolvente é importante para atenuar as perdas de energia e consequentemente melhorar a eficiência energética. Trazendo benefícios para o edifício e para os seus ocupantes, como conservar a temperatura no seu interior e assim torná-lo mais confortável, minimizar a necessidade de climatização e consequente o valor da fatura da energia e minimizar o aparecimento de patologias que melhora a salubridade no seu interior e potencia a vida útil do edifício.

Além das perdas térmicas, o aproveitamento dos ganhos solares tem um papel importante na diminuição das necessidades de aquecimento na estação de inverno, já na estação de arrefecimento estes devem ser devidamente controlados para não provocar sobreaquecimento dos espaços interiores e induzir os ocupantes a consumir energia para arrefecer o ambiente.

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE

2.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA TRANSMISSÃO DE CALOR

Assente nas leis e princípios básicos da termodinâmica, a transmissão de calor verifica-se entre dois elementos ou dois pontos de um elemento com diferentes níveis de temperatura. Esta transferência dá-se no sentido do elemento de mais quente para o frio e estagna quando os dois corpos estão à mesma temperatura, ou seja, quando atingem o equilíbrio térmico.

Os mecanismos de transmissão da energia térmica são:

- Condução
- Convecção
- Radiação

Na maioria dos casos estes mecanismos coexistem ao mesmo tempo (figura 2.1), como o exemplo de um elemento sólido separador de dois ambientes a temperaturas distintas.

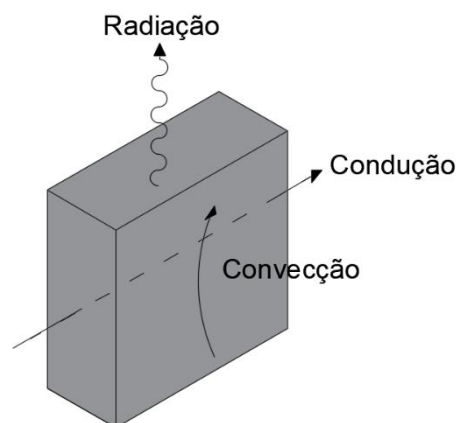


Figura 2.1 – Mecanismos de transmissão de calor.

2.1.1 Condução

Mecanismo de transmissão de calor característico dos elementos sólidos através do contacto físico entre um ponto e outro ou um corpo e outro a temperaturas distintas. O aumento da temperatura provoca agitações moleculares e atómicas que quando excitadas têm tendência a mover-se para zonas mais frias.

Regida pela lei de Fourier (1822): “O fluxo de calor por hora (Q) que atravessa uma dada superfície S é proporcional ao produto da área atravessada pelo gradiente de temperatura existente”. O fluxo de calor em watts que atravessa um elemento é dado pela seguinte expressão:

$$Q = \frac{\lambda \times S \times (t_e - t_i)}{e} \quad [\text{W}] \quad (2.1)$$

Em que:

Q – Fluxo de calor que atravessa o elemento [W];

S – Superfície do elemento [m²];

t_e, t_i – Temperaturas superficiais do elemento [K ou °C];

e – Espessura da placa [m];

λ – Condutibilidade térmica do elemento [W/(m.°C)].

A condutibilidade térmica é uma característica do elemento e varia com o tipo de material, a fase, o peso específico, a porosidade, a humidade e a temperatura. Quanto maior a condutibilidade térmica de um dado elemento menor a sua resistência à transferência de calor por condução, contrariamente, quanto menor for a condutibilidade térmica maior é a resistência ao fluxo de calor.

2.1.2 Convecção

Mecanismo de transporte de calor nos fluidos (gases ou líquidos) proporcionado pela agitação das moléculas e partículas no interior destes e entre um fluido uma superfície sólida, originado movimentos de circulação convectivos ascendentes e descendes. Neste último caso, a camada do fluido adjacente à superfície (camada limite) adquire velocidade e processam-se trocas de calor. Descrito pela lei de Newton: “O fluxo de calor transmitido por convecção entre uma superfície e um fluido é proporcional à área considerada e à diferença de temperaturas”, expresso pela seguinte expressão:

$$Q = h \times S \times (t_s - t_f) \quad [\text{W}] \quad (2.2)$$

Em que:

Q – Fluxo de calor ou Potência Calorífica [Watt = J/s];

S – Área da superfície em contacto com o fluido [m²];

t_f – Temperatura do fluido [°C];

t_s – Temperatura da superfície do sólido [°C];

h – Coeficiente de condutância térmica superficial por convecção [W/(m².°C)].

O coeficiente de condutância térmica superficial depende da velocidade do ar na camada limite, da rugosidade da superfície, da direção e sentido do fluxo de calor. Quanto maior o seu valor maior o valor do fluxo de calor transferido por convecção.

2.1.3 Radiação

A radiação é um mecanismo de transferência de calor através do espaço vazio que ocorre em todos os materiais e em todas as fases em qualquer meio material. A energia radiada por um corpo radiante puro (negro) é regida pela lei prescrita por Stefan (1879) e confirmada por Boltzman (1884). Todos os corpos absorvem e emitem radiação eletromagnética de diversos comprimentos de onda. A intensidade de radiação varia em função da temperatura absoluta, o estado da superfície e a posição do corpo em relação ao outro. O fluxo de calor radiado de um corpo radiante puro é dado aproximadamente pela expressão:

$$Q = \sigma \times S \times T^4 \quad [\text{W}] \quad (2.3)$$

Em que:

σ – Constante de Stefan-Boltzman [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$];

S – Área da superfície do corpo [m^2];

T – Temperatura do corpo [K].

Conforme já referido, a intensidade de radiação também depende do estado da superfície do corpo radiante, ou seja, a emissividade (ϵ). Esta propriedade revela a quantidade de energia térmica emitida por radiação e por unidade de tempo.

Dependendo da cor da superfície do corpo (escura ou clara), quando um corpo recebe energia radiante dá-se em geral uma absorção de parte da energia, uma reflexão de outra parte e uma transmissão da parte restante, quantificada pela Lei de Kirschhoff:

$$\alpha + \rho + \delta = 1 \quad (2.4)$$

Em que:

α – Coeficiente de absorção;

ρ – Coeficiente de reflexão;

δ – Coeficiente de transmissão.

Assim, tal como com o fenómeno de convecção, a radiação é responsável pelas trocas de calor na interface dos elementos construtivos e o ambiente.

2.2 TROCAS DE CALOR NOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são responsáveis por uma parte significativa das trocas de calor numa habitação e estas acontecem pelos três fenómenos de transmissão de energia térmica. A figura 2.2 representa a complexidade destas trocas de calor nos envidraçados entre o ambiente exterior e um espaço interior.

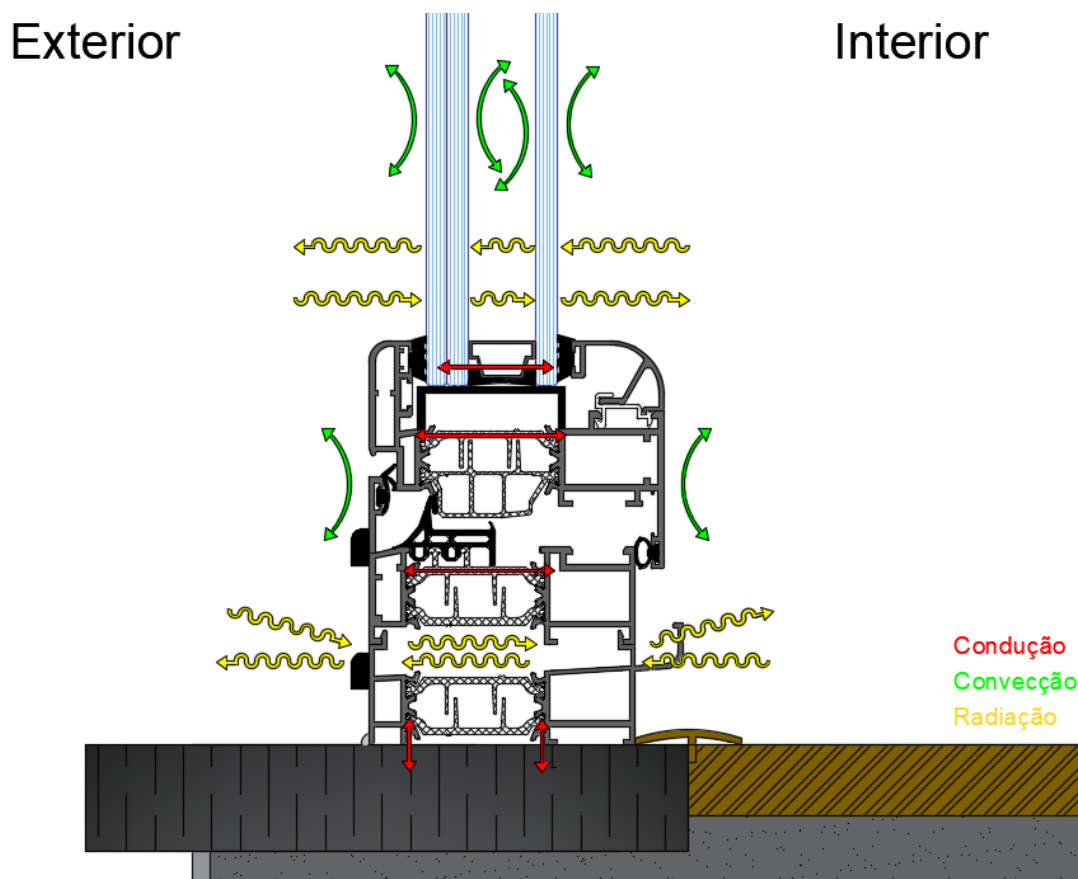


Figura 2.2 – Trocas de calor nos vãos envidraçados.

Nos vãos envidraçados o fenómeno de condução dá-se entre pontos com temperaturas diferentes seja entre dois pontos do caixilho, dois pontos do vidro, um ponto do caixilho e outro do vidro e entre um ponto do caixilho e um outro elemento construtivo em contacto com a caixilharia. A condutibilidade térmica dos materiais constituintes do vão envidraçado tem influência na intensidade das trocas de calor por condução através destes.

No que diz respeito à convecção, este mecanismo verifica-se nos vãos envidraçados em duas situações: convecção natural por gradiente térmico devido à diferença de pressões e convecção forçada, pela diferença de pressão causada por ventos atmosféricos e ou ventilação mecânica. Estes fenómenos ocorrem nas interfaces interiores e exteriores e no interior das caixas de ar, como entre dispositivos de proteção quando ativos e o envidraçado, no interior dos vidros duplos/triplos e nos espaços interiores dos perfis das caixilharias.

A permeabilidade da caixilharia tem grande importância na intensidade destas correntes convectivas causadas pelas pressões atmosféricas e ou mecânicas. O volume das caixas de ar condiciona a convecção natural que é desfavorável ao isolamento térmico, pois origina perdas de calor. No caso dos vidros compostos por vários panos, deve-se ter em conta o espaçamento entre estes e o tipo de fluido que preenche os espaços, como por exemplo em alternativa ao ar seco a colocação de outros gases mais densos que dificultam as correntes convectivas no interior. Já os espaços de ar no interior dos perfis das caixilharias, estes podem ser preenchidos com varas de poliamida ou outros materiais de condutibilidade térmica baixa e assim diminuir as perdas de energia pelos três mecanismos, aumentando a resistência térmica do envidraçado.

Por fim, todos os elementos dos vãos envidraçados absorvem, refletem e a emitem radiação. A intensidade dessa radiação varia em função da temperatura absoluta, a posição do corpo em relação ao outro e o estado da superfície ou emissividade do corpo radiante, propriedade que traduz a quantidade de energia térmica emitida por radiação e por unidade de tempo.

2.3 GEOMETRIA SOLAR

O sol apresenta diferentes percursos ao longo do dia e para as várias estações do ano, o que influencia o ângulo de incidência na superfície terrestre e permite contabilizar os ganhos térmicos e as obstruções afetadas pelos elementos de sombreamento do edifício e da vizinhança, no sentido de aproveitar da melhor forma esses ganhos térmicos na estação de aquecimento para o interior do edifício e restringir a sua entrada quando inconveniente, como a estação de arrefecimento. Para isso é necessário conhecer com exatidão a trajetória do sol ao longo do ano, através de coordenadas solares, latitude, longitude, azimute, altura solar, declinação e ângulo horário. As cartas solares são representações destas trajetórias em vários dias do ano numa dada latitude.

A figura 2.3 representa o percurso do sol no solstício de Verão (21 de junho) em Portugal, este nasce relativamente próximo da orientação nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação noroeste, variando o ângulo de azimute do nascer do sol e do pôr do sol com a latitude do lugar. A figura 2.4 apresenta o percurso do sol no solstício de inverno (21 de dezembro), em que o sol nasce relativamente próximo de sudeste e põe-se próximo de sudoeste, variando também o ângulo de azimute com a latitude do lugar. Nos Equinócios (21 de março e 21 de setembro) o sol nasce exatamente na orientação este e põe-se exatamente na orientação oeste (3).

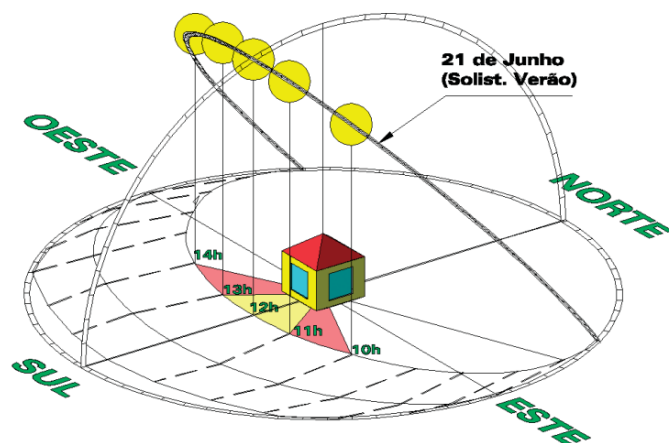


Figura 2.3 – Percurso do sol no verão. (3)

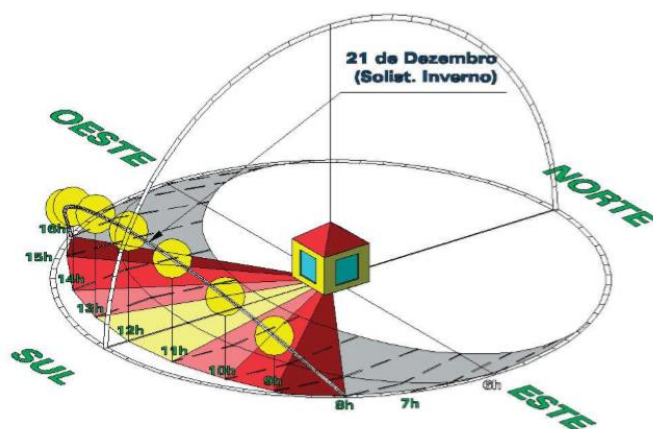


Figura 2.4 – Percurso do sol no inverno. (3)

Posto isto, a orientação dos vãos envidraçados afeta o nível de incidência da radiação solar. Em Portugal a fachada orientada a sul potencia a radiação solar em relação às outras. No inverno esta estratégia proporciona maiores ganhos térmicos o que é vantajoso, já no verão torna-se necessário minimizar os ganhos provenientes da radiação solar, através de elementos de sombreamento sobre os envidraçados das fachadas não orientadas no quadrante norte.

2.4 VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são fundamentais numa habitação para a iluminação natural, ventilação e usufruto visual de ambientes exteriores. No decorrer dos tempos, a sua constituição tem vindo a sofrer alterações significativas, acompanhando as necessidades e exigências dos ocupantes dos edifícios, no que diz respeito a aspetos funcionais e estéticos.

As partes envidraçadas ganham cada vez mais presença nas habitações, com o progressivo aumento das suas dimensões e conseqüentemente uma diminuição da parte opaca do edifício. Este aumento beneficia a iluminação natural, a ventilação, os ganhos solares e provoca uma maior harmonização entre o ambiente exterior e o interior. Contudo, geralmente, induz na globalidade da envolvente exterior uma diminuição da resistência térmica e do desempenho acústico, uma maior permeabilidade ao ar, menor estanquidade à água e menor resistência mecânica da envolvente. Assim, é de grande importância a seleção do tipo de vão envidraçado a implementar num edifício, pela sua influência geral no seu comportamento.

Atualmente o mercado oferece uma grande variedade de produtos que integram os vãos envidraçados, desde a caixilharia, ao vidro e aos dispositivos de proteção.

Neste capítulo serão apresentados os constituintes de um vão envidraçado, os vários tipos de produtos e soluções que atualmente são empregues em grande parte da construção e reabilitação de edifícios de habitação.

2.4.1 Caixilharia

A caixilharia é o elemento que faz a transição entre a parte opaca e a parte envidraçada. Este elemento permite o guarnecimento e o suporte de vidros ou outro tipo de enchimento e tem a principal função de resistência aos esforços mecânicos, estanquidade, segurança e operacionalidade dos vãos, assim como a capacidade de garantir isolamento térmico e acústico.

O material mais utilizado no fabrico de caixilharias é o alumínio e o PVC, sendo a madeira também muito usada na reabilitação em zonas históricas. Recentemente surgiram as caixilharias de fibra de vidro que reúnem excelentes características e apresentam um reduzido impacto ambiental.

Embora menos empregues, são também produzidos sistemas de caixilharia mista, geralmente com o objetivo de melhorar o isolamento térmico ou a capacidade resistente e também por razões estéticas, como caso do alumínio e a madeira, o alumínio e o PVC e o PVC e a madeira.

Geralmente as caixilharias são constituídas por aros fixos e móveis, vedantes, dobradiças, puxadores e ferragens. Estas apresentam várias tipologias de movimento das folhas, geralmente adaptadas aos dois principais tipos de mecanismos de abertura, o sistema de batente e sistema de correr.

2.4.1.1 Tipologias de vãos

Em seguida serão descritas as principais tipologias dos vãos envidraçados:

- **Vão envidraçado fixo**

O vão envidraçado fixo (figura 2.5), não possui mecanismo de abertura, ou seja, não apresenta parte móvel ou folha. Em geral são adotados apenas com a função de iluminação natural e visibilidade exterior.

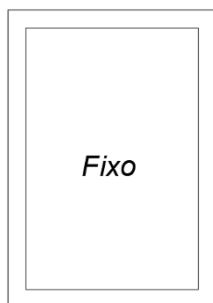


Figura 2.5 – Alçado de vão envidraçado fixo.

- **Vão envidraçado de abertura lateral**

Com uma ou mais folhas móveis, este tipo de abertura desloca-se através da rotação em torno do eixo vertical lateral do vão conforme representado na figura 2.6. A movimentação das folhas é assegurada por dobradiças, unindo a parte fixa e a parte móvel. A abertura pode ser feita para o interior como para o exterior com recurso a perfis adequados a cada caso. O fecho da janela ou porta é normalmente assegurado por cremones ou fechaduras de chave.

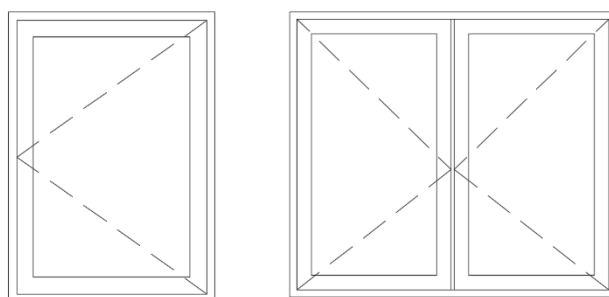


Figura 2.6 – Alçado de vãos envidraçados de abertura lateral.

- **Vão envidraçado basculante**

O vão envidraçado basculante apresenta o mesmo funcionamento que uma janela de abertura lateral, com a diferença da folha móvel deslocar-se em torno do eixo rotação horizontal inferior do vão, figura 2.7. Normalmente este tipo de janelas permite uma abertura parcial ajustável na parte superior do envidraçado com recurso a compassos.

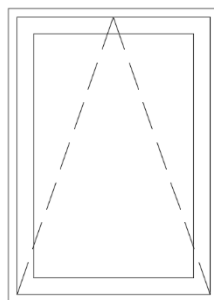


Figura 2.7 – Alçado de vão envidraçado basculante.

- **Vão envidraçado projetante**

Assim como a janela basculante, a janela projetante representada na figura 2.8, permite o deslocamento da folha móvel em torno do eixo horizontal, com a diferença de este se situar na parte superior do vão. A abertura é normalmente efetuada para o exterior, permitindo uma ventilação mais protegida em caso de aguaceiros.

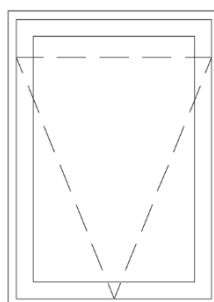


Figura 2.8 – Alçado de vão envidraçado projetante.

- **Vão envidraçado de oscilo-batente**

Neste caso o vão envidraçado possui duas deslocações de abertura, uma segundo o eixo vertical lateral e outra segundo o eixo horizontal inferior, como podemos verificar na figura 2.9. Esta tipo de abertura é assegurada por um conjunto específico de ferragens e acessórios que permite a abertura lateral e basculante.

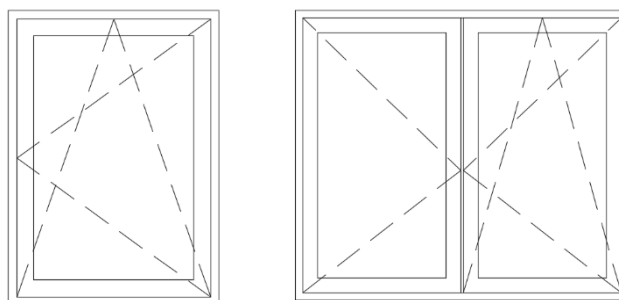


Figura 2.9 – Alçado de vãos envidraçados de oscilo-batente.

- **Vão envidraçado de oscilo-paralela**

O mecanismo oscilo-paralela permite uma folha móvel de um sistema de batente ficar em posição de correr, permitindo ainda a abertura basculante, como apresentado no esquema funcional da figura 2.10. Para a aplicação deste equipamento, o vão envidraçado necessita de apresentar uma parte móvel e uma fixa, de maneira a possibilitar a folha móvel correr. Tal como o oscilo-batente, esta tipologia é garantida com recurso a ferragens e acessórios especificados para efeito.

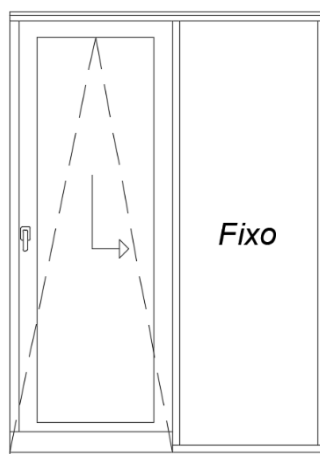


Figura 2.10 – Alçado de vão envidraçado de oscilo-paralela.

- **Vão envidraçado pivotante**

Este tipo de abertura desloca-se através da rotação em torno de um eixo vertical ou horizontal, sendo que este não coincide com os perfis perimetrais da folha, (figura 2.11). Normalmente são situados a meio permitindo uma abertura simétrica, mas também é aplicado perto de uma das laterais verticais como o caso das portas pivotantes. Este sistema condiciona a aplicação de dispositivos de proteção solar, pois a sua abertura ocupa espaço interior e exterior.

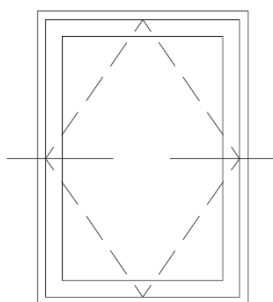


Figura 2.11 – Alçado de vão envidraçado pivotante.

- **Vão envidraçado harmónio**

Sistema que permite uma abertura conjugal de várias folhas num movimento de “fole” para um dos lados, (figura 2.12). À medida que as folhas correm no sentido da abertura através de carris superiores e

inferiores, encartam-se umas nas outras e ocupam um reduzido espaço, permitindo uma ampla abertura do vão.

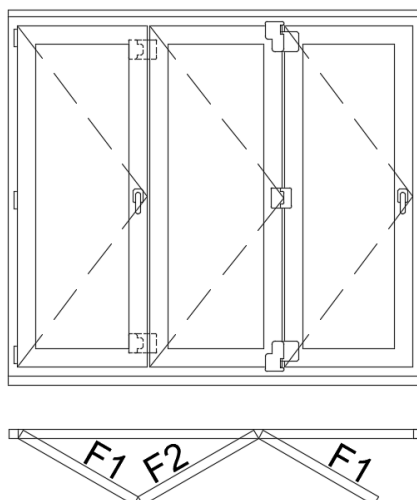


Figura 2.12 – Alçado e planta de vão envidraçado harmónico.

- **Vão envidraçado de correr**

Assim como os envidraçados de abertura rotacional, as portas/janelas de correr possuem aros fixos e móveis. Normalmente utilizados por não ocupar espaço interior quando ativados, estas permitem a abertura de uma ou mais folhas, (figura 2.13). As folhas correm lateralmente sobre roldanas aplicadas no aro móvel inferior, que deslizam sobre o carril do aro fixo. O travamento das folhas pode ser feito nos prumos laterais ou nos prumos centrais, através de fechos. Estes sistemas de correr, geralmente apresentam um pior desempenho à permeabilidade ao ar e estanquidade à água, face a sistemas de batente.

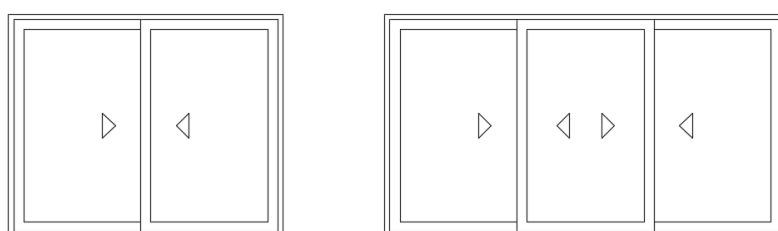


Figura 2.13 – Alçado de vãos envidraçados de correr.

- **Vão envidraçado de guilhotina**

Sistema semelhante a uma janela de correr com movimento vertical das folhas, conforme representado figura 2.14. Este tipo de janelas com abertura manual, deixam de ser viáveis em grandes dimensões pela dificuldade de abertura. As suas ferragens laterais permitem várias posições de abertura, o que é ideal para regulação de caudais de ventilação.

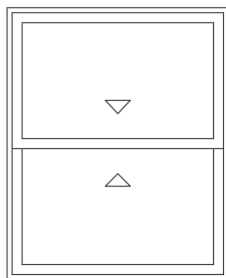


Figura 2.14 – Alçado de vão envidraçado de guilhotina.

- **Vãos envidraçados compostos**

Combinação de várias tipologias de vãos envidraçados. Como exemplo as marquises, recorrendo-se normalmente a um ou dois sistemas de abertura e o sistema fixo, (figura 2.15).



Figura 2.15 – Alçado de vão envidraçado composto.

2.4.1.2 Materiais

Iremos descrever em seguida as características principais dos materiais utilizados nas caixilharias:

- **Alumínio**

Após a extração da matéria-prima do alumínio, os perfis são produzidos por extrusão, processo de compressão de cilindros a quente contra um molde que confere a forma desejada ao perfil. A liga de alumínio normalmente utilizada é da classe 6000, que oferece boa resistência à corrosão e um bom compromisso entre resistência mecânica e ductilidade (4).

A caixilharia de alumínio tem grande aplicação na construção civil, sendo a sua resistência e durabilidade os principais motivos da escolha deste material. Além disso, apresenta uma grande variedade de acabamentos, cores e formas de superfícies, que são tratadas pelos processos de lacagem e anodização.

A grande condutibilidade térmica do alumínio levou ao desenvolvimento de perfis com rotura térmica, (figura 2.16), através da união de dois semi-perfis de alumínio e varas de poliamida, resultando num perfil só. Este tipo de caixilharias apresentam um desempenho térmico muito superior aos sistemas a frio, derivado da barreira térmica criada pela poliamida, material que apresenta uma condutibilidade térmica muito inferior à do alumínio. Além disso os perfis de rotura térmica permitem a utilização de duas cores.

Uma das desvantagens da caixilharia de alumínio além da elevada condutibilidade térmica, é a quantidade de energia consumida na sua produção. No entanto nos últimos tempos, com a reciclagem deste material a quantidade de energia despendida reduziu consideravelmente.

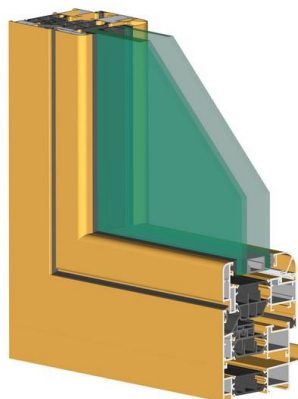


Figura 2.16 – Caixilharia de alumínio com rotura térmica. (4)

- **Policloreto de vinilo**

O policloreto de vinilo (PVC) é um polímero termoplástico produzido através da polimerização do Monómero de Cloreto que é obtido a partir do cloreto e do etileno.

Assim como o alumínio os perfis de PVC são produzidos por extrusão, estes que para conferir uma maior rigidez estrutural, os seus perfis são normalmente menos esbeltos em relação a outros materiais de caixilharia. Em casos de vãos com dimensões elevados, pode ser necessário a incorporação de reforços de metal ou madeira no interior destes perfis, (figura 2.17), no entanto em casos extremos pode não ser o tipo de material mais viável a utilizar.

Nos últimos anos, o sucesso deste tipo de caixilharia deve-se principalmente às suas características térmicas e acústicas, assim como à estanquidade, resistência, grande variedade de cores e relação qualidade-preço.

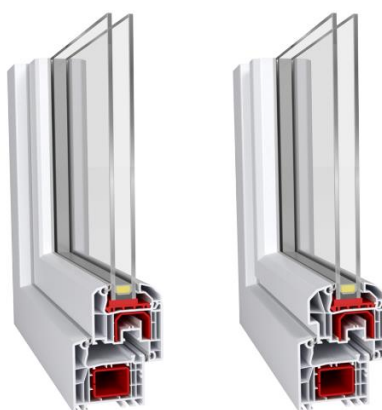


Figura 2.17 – Caixilharia de PVC com reforços. (5)

- **Madeira**

A madeira é dos materiais mais antigos e com mais utilização na construção.

Atualmente, não é dos materiais mais usados no fabrico de caixilharias, pela sua menor durabilidade, maior necessidade de manutenção, suscetibilidade de deterioração e custo elevado, em comparação com os outros materiais que ao longo do tempo a têm vindo a substituir. Sendo a sua aplicação mais notória na área da reabilitação de zonas históricas. No entanto, os caixilhos de madeira quando bem construídos e com os devidos cuidados de manutenção conseguem atingir um longo período de vida.

O tratamento das superfícies é normalmente através da pintura com vernizes/tintas plásticas, que conferem uma maior flexibilidade, impedindo a formação de fissuras e consequentemente a penetração de bactérias e humidade (6).

As principais vantagens do uso da madeira em caixilharias, é o seu desempenho térmico e o aspeto estético que só esta consegue fornecer aos vãos envidraçados, (figura 2.18).

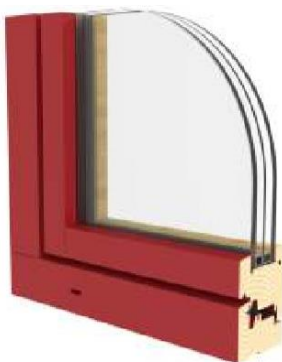


Figura 2.18 – Caixilharia de madeira. (6)

- **Fibra de vidro**

A fibra de vidro é um material compósito constituído por dois ou mais componentes de diferentes propriedades físicas e químicas, principalmente a sílica (areia). O reforço com fibras de vidro faz com que este material possua boas características de utilização em muitos setores, nomeadamente a construção (7).

As caixilharias de fibra de vidro (figura 2.19), surgiram recentemente no mercado e apresentam excelentes características térmicas e acústicas, assim como, excelente resistência à corrosão, boa resistência mecânica, durabilidade e apresentam bom comportamento com temperaturas elevadas face a outros materiais como o PVC.

Os perfis são produzidos por pultrusão, processo de baixo consumo energético face a outras tipologias de caixilharia, que aliado a uma grande durabilidade faz este material ter um menor impacto ambiental (7).

Este tipo de caixilharias são mais onerosas e apresentam ainda pequena gama de sistemas o que torna a escolha estética mais limitativa.



Figura 2.19 – Caixilharia de fibra de vidro. (7)

- **Outros**

Além dos materiais já apresentados, o mercado apresenta soluções de caixilharias em ferro e aço inox, conhecidos pela grande resistência mecânica. Apesar da possibilidade de aplicação de perfis com rotura térmica, este tipo de caixilharia apresenta uma relação qualidade preço inferior face ao alumínio e PVC.

Outro tipo de solução para os vãos envidraçados são as caixilharias mistas ou híbridas, que resultam da conjugação de dois materiais diferentes. Como exemplo, as soluções mistas de alumínio/madeira, (figura 2.20) ou PVC/madeira, que combinam a resistência na face exterior com o alumínio ou PVC e o efeito estético da madeira na face interior. Além disso, no caso da solução alumínio/madeira, o desempenho térmico do caixilho é beneficiado devido à baixa condutibilidade térmica da madeira em relação ao alumínio, benefício este que está presente também em soluções alumínio/PVC assim com o aumento da capacidade resistente.



Figura 2.20 – Caixilharia mista alumínio/madeira. (4)

2.4.2 Vidro

O vidro é um material obtido a partir da fusão de matérias-primas naturais, em geral a sílica (areia) misturada com hidróxido de sódio ou carboneto de sódio, entre outros óxidos metálicos. Existem em geral

três grandes grupos de vidros, o silício-sodo-cálcico, o chumbo ou cristal e o boro-silicato. O vidro silício-sodo-cálcico é usado na construção e é composto por (8):

- Um vitrificante, a sílica, introduzida em forma de areia (70 a 72%);
- Um fundente, a soda, em forma de carbonato e sulfato (cerca de 14%);
- Um estabilizante, o óxido de cálcio, sob a forma de calcário (cerca de 10%);
- Outros óxidos, como o de alumínio e magnésio, melhorando as propriedades físicas do vidro;
- Existem ainda outros óxidos metálicos que conferem diferentes colorações aos vidros.

Na tabela 2.1 estão indicados os principais valores característicos do vidro:

Tabela 2.1 – Propriedades do vidro. (8)

Propriedade	Valor característico
Peso específico, γ	2,2 a 2,5 kN/m ³
Elasticidade, Módulo de Young, E	70 GPa
Coeficiente de contração lateral (Coef. De Poisson, ν)	0,2
Coeficiente de dilatação linear	9×10^{-6}

2.4.2.1 Tipos de vidro

Atualmente existem no mercado muitos tipos de vidro de características e setores de utilização diferentes. Na construção de edifícios, estes têm como principal aplicação nos vãos envidraçados. São normalmente aplicados em caixilharias com a função de permitir a iluminação natural, a penetração de radiação solar e acesso visual para o exterior. Mediante o tipo de vidro estes podem garantir isolamento térmico e acústico, segurança e aspetos estéticos. A escolha do tipo de vidro a implementar nos vãos envidraçados deve ter conta a localização, a orientação, os níveis de conforto térmico e acústico pretendidos e o dispositivo de proteção solar.

Iremos caracterizar os principais tipos de vidros:

- **Vidro comum**

Vidro padrão com acabamento liso e incolor, constituído apenas por um pano de espessura variável. Em geral é o vidro que permite maiores ganhos solares e tem maior transmissão luminosa.

- **Vidro colorido**

É um vidro que apresenta uma coloração, normalmente utilizado para controlo de encandeamento ou por razão estética.

- **Vidro impresso**

Este tipo de vidro apresenta numa das faces a gravação de um desenho obtido durante a fase de laminagem do vidro fundido pela passagem entre dois cilindros (9). Este tipo de impressão pode ser utilizado em vários tipos de vidro com diferentes formas. O principal objetivo é a visibilidade reduzida e o aspeto estético.

- **Vidro fosco**

O vidro fosco é obtido a partir do tratamento de ácido (foscagem), apresentando uma superfície perfeitamente homogénea e translúcida em vários níveis de passagem de luz (10). Assim como o vidro impresso, o principal objetivo deste vidro é a visibilidade reduzida e o aspeto estético.

- **Vidro aramado**

É um tipo de vidro impresso com uma malha de arame no seu interior. O principal objetivo é aumentar a segurança do vidro em caso de quebra por intrusão ou incêndio. O arame estabiliza o vidro e impede a queda de fragmentos.

- **Vidro laminado**

É um vidro composto por duas ou mais chapas de vidro ligadas intercaladamente por uma película de polivinil butiral (PVB) ou resina, conferindo melhores propriedades específicas como a elasticidade, a resistência aos impactos, a proteção acústica e a proteção contra os raios ultravioleta (9). Em caso de quebra, os fragmentos mantêm-se colados, evitando a sua queda e uma possível intrusão para o interior.

- **Vidro temperado**

O vidro temperado apresenta face ao vidro comum, maior resistência à compressão, à flexão e ao choque térmico, obtido através do processo de têmpera, tratamento térmico ou químico, que coloca a chapa de vidro em arrefecimento e aquecimento repentino. É considerado um vidro de segurança, pois em caso de quebra este estilha-se em pequenos fragmentos o que diminui o risco de ferimentos.

- **Vidro refletivo**

A transformação do vidro comum em vidro refletivo (espelhado), consiste na deposição de uma camada metalizada numa das faces pelo processo pirolítico ou de câmara em vácuo (10). Este tipo de vidro tem como principal função impedir a visibilidade a partir do exterior para o interior ao mesmo tempo que permite do interior para o exterior.

- **Vidro baixa emissividade**

Este tipo de vidro apresenta uma fina camada de óxido metálico numa das faces, conferindo ao vidro uma emissividade reduzida face a um vidro incolor comum. A deposição da camada é feita pelo processo pirolítico ou por tecnologia em vácuo (10).

Este tipo de vidro, graças ao seu baixo coeficiente de transmissão térmica, garante um melhor isolamento térmico e reduz as perdas de calor por radiação do vidro. Além disso mantém a transparência e

luminosidade próxima de um vidro incolor e garante ganhos solares no inverno. Concebido para climas com necessidade de aquecimento.

- **Vidro de controlo solar**

Assim como o vidro baixo emissivo, o vidro de controlo solar é constituído por uma película de baixa emissividade, que junta ao bom desempenho térmico à capacidade de controlar a radiação solar. Permite reduzir as perdas térmicas de inverno nos envidraçados e reduzir os ganhos de calor pela radiação solar no verão. Consoante o fator solar, o vidro permitirá mais ou menos ganhos. Concebido para climas com necessidade de arrefecimento e aquecimento ou só de arrefecimento.

- **Vidro duplo ou triplo**

Constituído por dois ou três panos de vidro separados em paralelo por um espaço preenchido com gás, ar ou ambos. Este sistema de vidro apresenta um melhor isolamento térmico e acústico face a um vidro simples. Pode ser constituído por diferentes tipos de vidro, como vidros incolores, coloridos, foscos, impressos, temperados, laminados, de baixa emissividade e controlo solar, de maneira a atingir as características desejadas quanto a visibilidade, isolamento térmico e acústico, segurança, privacidade e estética.

Em geral o espaçamento entre panos de vidro é preenchido por ar atmosférico composto por oxigénio e azoto, no entanto pode ser colocado gases mais densos como o Árgon, Kriptón e o Xénon que são maus condutores de calor e beneficiam o isolamento térmico do vidro. O espaço é garantido por um perfil intercalar ou espaçador com um material dessecante (sílica) no seu interior. A estanquidade da caixa de ar ou gás é garantida com a primeira e segunda selagem de silicone estrutural, impedindo assim condensações no seu interior. A figura 2.21 representa os constituintes de um vidro duplo.



Figura 2.21 – Constituintes de um vidro duplo (11).

2.4.3 Proteção solar e sombreamento

A proteção solar ou dispositivos de oclusão noturna e o sombreamento, tem como principal função impedir a incidência da radiação solar nos envidraçados na estação de verão, altura favorável ao sobreaquecimento dos espaços interiores. Este fenómeno deve-se à mudança de comprimento de onda da radiação penetrante, que após atravessar o vidro não consegue voltar a sair. Alguns destes dispositivos também têm a função de dificultar a visibilidade para o interior dos edifícios, sobretudo no período noturno, garantindo a privacidade dos seus ocupantes.

Existem no mercado vários tipos de dispositivos de oclusão interiores e exteriores e elementos sombreamento, sendo os mais utilizados as palas horizontais e verticais, estores, portadas, brisas solares, telas e cortinas interiores. Além destes equipamentos existem meios de sombreamento natural como a vegetação.

Em seguida serão descritos os principais elementos de sombreamento e dispositivos de proteção solar:

- **Palas horizontais e verticais**

Meio de sombreamento por intermédio de elementos fixos à fachada. Estes podem fazer parte do corpo de construção, elementos projetados a partir da fachada, ou ser afixados à construção, como palas metálicas e envidraçadas (figura 2.22). As palas metálicas podem ainda apresentar aberturas por intermédio de lamelas fixas.

Em Portugal este tipo de sombreamento fixo, é vantajoso nas orientações a sul, este e oeste, de modo a interceptar a radiação solar de maior e menor inclinação vertical.



Figura 2.22 – Pala horizontal metálica. (12)

- **Laminas solares**

As laminas solares são um sistema de sombreamento com um efeito de quebra sol. Este sistema pode ser aplicado na vertical em frente aos vãos envidraçados ou como pala horizontal e as suas laminas podem

ser fixas ou móveis. No caso das amovíveis (figura 2.23), estas permitem a regulação do fluxo de calor e a entrada de luz, conforme a variação solar durante o dia ou intenção do ocupante. Em geral este tipo de laminas são de material metálico ou madeira.



Figura 2.23 – Laminas solares móveis. (4)

- **Portadas**

As portadas são um dispositivo de oclusão que bloqueia a entrada de luz e radiação solar (figura 2.24). Estas podem ser constituídas por laminas fixas com pequenas obturações, laminas orientáveis ou mesmo por folhas opacas. No mercado existe soluções em alumínio, madeira e PVC, em geral as portadas de alumínio e PVC são aplicadas pelo exterior e as de madeira pelo interior.



Figura 2.24 – Sistema de portada de laminas orientáveis. (4)

- **Venezianas**

As venezianas ou brisa solar (figura 2.25) são constituídas por laminas metálicas orientáveis e permitem o bloqueio do envidraçado assim como a abertura ampla do estore recolhendo as laminas uniformemente. Possibilita ainda regular a iluminação e o fluxo de calor através da laminas orientáveis. No mercado podemos encontrar soluções em alumínio, aço e madeira de funcionamento manual ou automático. Além disso, consoante a robustez pode ser aplicada no exterior e no interior.



Figura 2.25 –Brisa solar metálica. (13)

- **Estores**

Os estores (figura 2.26), são dos dispositivos mais aplicados em habitações, por serem económicos e práticos. Este sistema é constituído por régua horizontal que por funcionamento manual ou automático, permitem bloquear e regular a entrada dos raios solares. As soluções mais comuns são em régua de alumínio e PVC. Este sistema obriga, na maioria dos casos, à existência de uma caixa de estores que, de acordo com a legislação em vigor, constitui uma zona de ponte térmica plana com exigências específicas a cumprir.



Figura 2.26 – Estore em alumínio compacto. (14)

- **Telas e cortinas de rolo**

As telas e cortinas de rolo são sistemas de sombreamento amovível de superfície lisa (figura 2.27), através de enrolamento vertical. No caso das telas, estas podem ser aplicadas no interior e no exterior, já as cortinas são normalmente aplicadas pelo interior. O nível de entrada de iluminação depende a opacidade da tela e do tipo sistema.



Figura 2.27 – Tela de rolo com guia lateral. (13)

- **Outros dispositivos de sombreamento**

Além dos dispositivos já mencionados, existem outros meios de sombreamento como as cortinas comuns interiores, os toldos de aplicação exterior e os vidros de controlo solar.

2.4.4 Requisitos de marcação CE

O processo de marcação CE dos produtos de construção é atualmente regido pelo Regulamento (UE) n.º305/2011 do Parlamento e do Conselho, de 9 de março de 2011 e estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, atualmente designado por Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) está em vigor desde 1 de julho de 2013.

Como produto de construção, as janelas e portas para serem comercializadas devem possuir marcação CE, para isso os fabricantes devem emitir a declaração de conformidade das janelas e portas que produzem para o espaço económico europeu. Sendo necessário a realização das seguintes ações (15):

- Realização de ensaios de tipo iniciais (ETI) dos produtos em laboratório notificado;
- Implementação de um sistema de controlo interno da produção (CIP), ou seja, controlo em fabrica do processo de produção. Este ponto pode ser automaticamente cumprido caso a empresa detenha a certificação ISO 9001:2000;
- Aposição da marcação (ou etiqueta) CE em cada janela e porta fabricada, com respetivas características;
- Emissão de uma declaração de desempenho sobre cada produto.

A norma portuguesa NP EN 14351-1:2008 + A1: 2011, também denominada de “Norma do Produto” para janelas e portas exteriores, define as características obrigatórias de desempenho destes sistemas de

caixilharia independentemente do material que as constituem. A tabela 2.2 apresenta algumas das características obrigatórias para cumprimento dos requisitos essenciais.

Tabela 2.2 – Alguns dos ensaios de tipo inicial para sistemas de janelas e portas. (15)

Características essenciais	Norma de ensaio/cálculo
Resistência às ações do vento	EN 12211
Estanquidade à água	EN 1027
Permeabilidade ao ar	EN 1026
Resistência mecânica dos dispositivos de segurança	EN 14609
Isolamento térmico	EN ISO 12567-1 (ensaio) EN 10077-1 (cálculo)
Proteção contra o ruído	EN ISO 140-3 (ensaio) NP EN 14351-1+A1 (cálculo)

2.4.5 Etiqueta CLASSE+

Originalmente designado por Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP), o sistema CLASSE+, é uma iniciativa da Agência para a Energia (ADENE), no sentido de facilitar a escolha de produtos mais eficientes na reabilitação de edifícios. A etiqueta CLASSE+, pretende colmatar a ausência de etiqueta energética europeia obrigatória em alguns produtos com influência no desempenho energético dos edifícios e assim facilitar ao consumidor a escolha de produtos eficientes no momento da sua aquisição. Apenas empresas aderentes a este sistema podem emitir estas etiquetas, e assim mostrar de uma forma mais simples e clara o desempenho energético dos seus produtos (16). Além disso, para garantir uma instalação de qualidade dos produtos, a ADENE disponibiliza o acompanhamento com formação de técnicos instaladores com reconhecimento pela Associação para a Certificação (CERTIF) (16).

As janelas são o primeiro produto classificado segundo este sistema. O seu desempenho energético é classificado numa escala de “F” (menos eficiente) a “A+” (mais eficiente). A etiqueta CLASSE+ (figura 2.28) apresenta os seguintes dados:

- Empresa Fabricante;
- ID CLASSE+: Código de identificação individual que disponibiliza as características técnicas do produto, a identificação da empresa que forneceu e os profissionais que fizeram a instalação;
- Classificação energética;
- Nível de conforto de verão e inverno;
- Coeficiente de transmissão térmica da janela;

- Coeficiente de atenuação acústica da janela;
- Classe de permeabilidade ao ar da janela;
- Fator solar do vidro;
- Transmissão luminosa do vidro.



Figura 2.28 – Etiqueta CLASSE+. (16)

A figura 2.29 representa aproximadamente a redução do consumo de energia associado às janelas de acordo com a classe, face a uma janela de vidro simples com classe F e assumindo que a casa é climatizada. De acordo com a tabela, a substituição de uma caixilharia de classe F para uma de classe A ou A+, representa uma redução de cerca de 50% dos consumos associados à janela anterior.

CLASSE	REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ASSOCIADO ÀS JANELAS*
A+	55%
A	50%
B	40%
C	30%
D	20%
E	10%
F	0%

* Valor aproximado, quando comparado com uma janela vulgar, de vidro simples, com classe F e assumindo que a casa é climatizada.

Figura 2.29 – Redução do consumo de energia associado às janelas de acordo com a classe. (16)

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO PROTÓTIPO

O edifício protótipo elaborado para o presente estudo tem alguns aspetos importantes que visam potenciar a clareza e interpretação dos resultados relativos ao seu desempenho energético. Desde logo a sua forma em paralelepípedo, induzindo menor área de envolvente exterior e menores perdas térmicas lineares face a edifícios com configurações mais complexas. A inclusão da fração envidraçada apenas no alçado principal tem como objetivo evidenciar os resultados de acordo com a orientação da fachada e assim compreender os benefícios de uma boa orientação dos vãos envidraçados. Os envidraçados apresentam também uma ampla dimensão, de forma a otimizar os ganhos solares de inverno, a verificar a sua influência no comportamento de verão e simplificar a compreensão dos resultados obtidos. As figuras 3.1 e 3.2 apresentam uma modelação 3D com recurso ao software *SketchUp*, onde é possível verificar os aspetos em cima indicados.



Figura 3.1 – Fachada frontal e lateral esquerda.

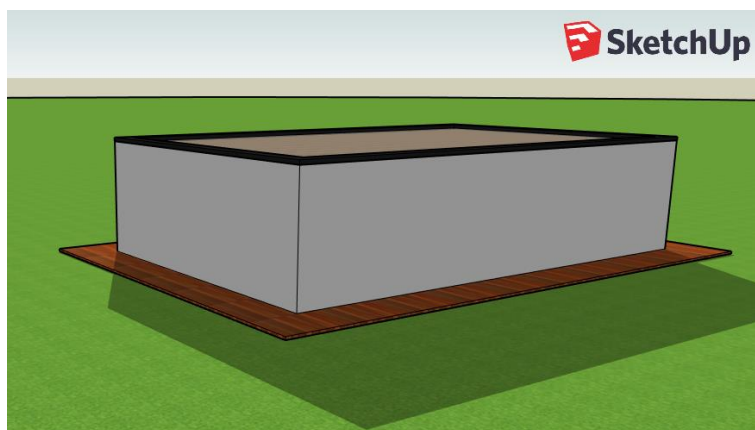


Figura 3.2 – Fachada posterior e lateral direita.

Constituição geral do edifício:

- A estrutura do edifício é em betão armado (laje cobertura, pilares e vigas), o pavimento sobre vazio sanitário (sistema tipo copulex), também será em betão armado.
- As paredes exteriores são constituídas por um pano de alvenaria de bloco de betão com isolamento térmico pelo exterior.
- As paredes interiores são também constituídas por um pano, mas de alvenaria de tijolo furado.

O edifício desenvolve-se apenas num piso de rés do chão com 88,89 m² de área útil e encontra-se subdivido nos seguintes compartimentos:

- Cozinha / Sala / Hall, com 65,18 m²;
- Quarto, com 14,65 m²;
- Quarto de banho, com 9,06 m².

Os vão envidraçados estão localizados na fachada principal e apresentam as seguintes dimensões e designações:

- V1 com 5956x2600 (mm), uma área de 15,48m² e localizado na zona da Cozinha, Sala e Hall;
- V2 com 1199x2600 (mm), uma área de 3,12m², constitui a porta de entrada para a habitação e está localizado na zona da Cozinha, Sala e Hall;
- V3 com 3823x2600 (mm), uma área de 9,94m² e está localizado no Quarto.

Os desenhos de arquitetura são apresentados na figura 3.3, planta de rés do chão, os alçados na figura 3.4 e o corte longitudinal e transversal na figura 3.5.

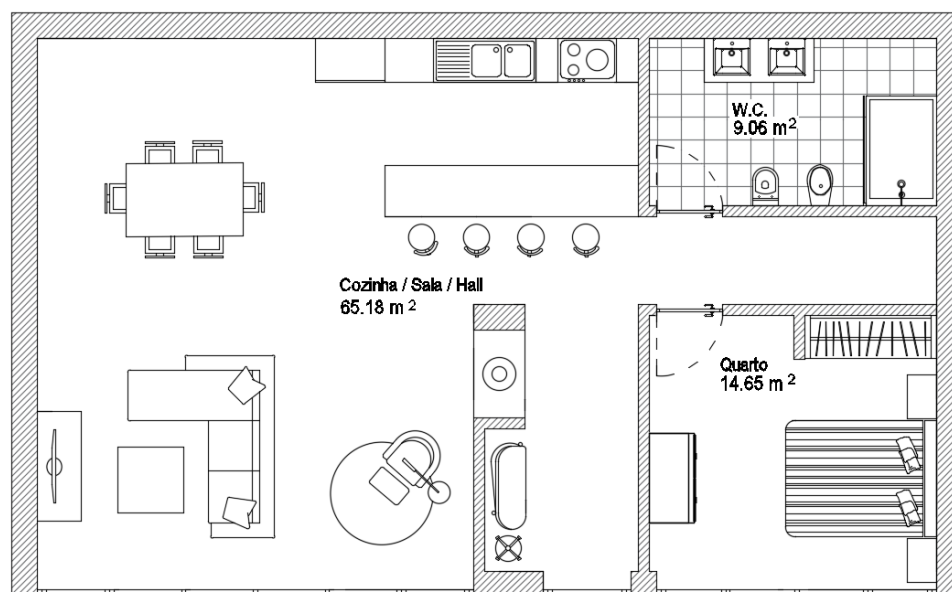
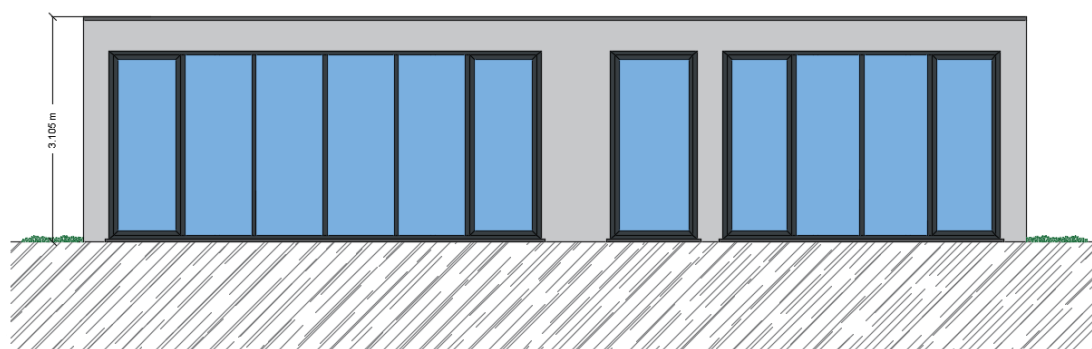
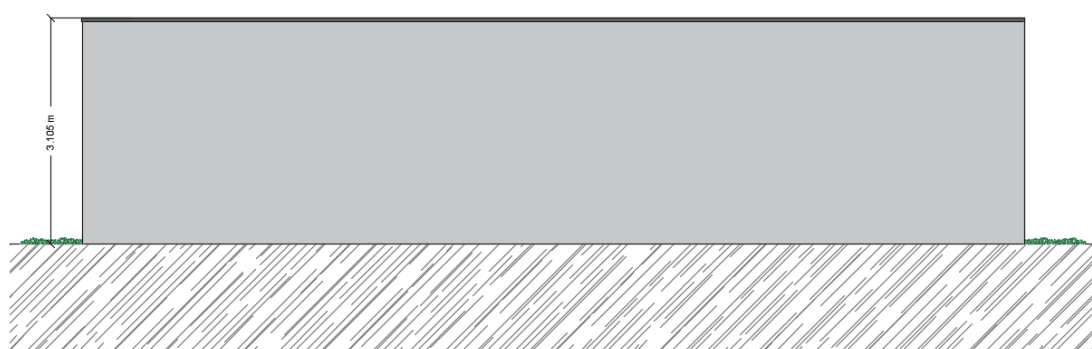


Figura 3.3 – Planta de rés do chão.



Alçado Principal



Alçado Posterior

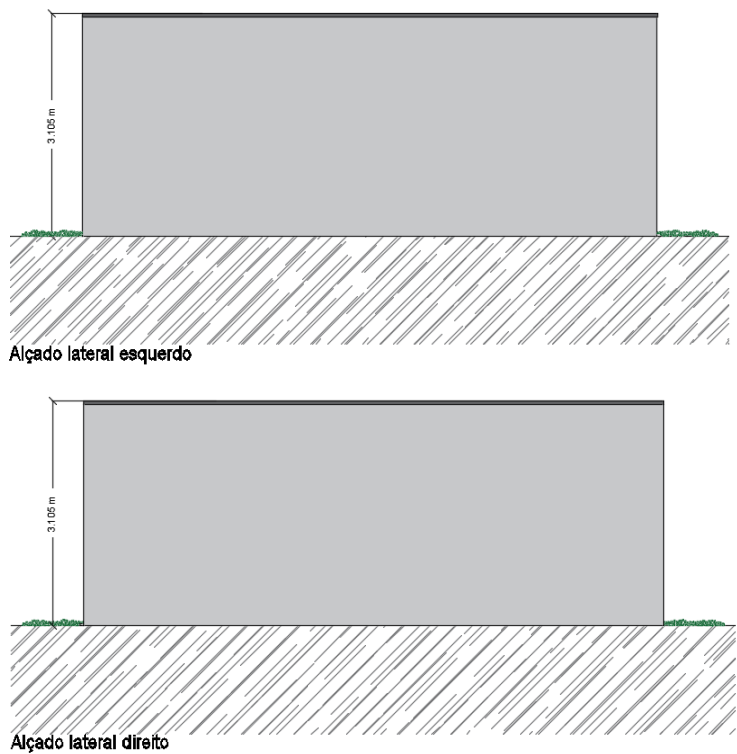


Figura 3.4 – Alçado principal, posterior, lateral esquerdo e lateral direito.

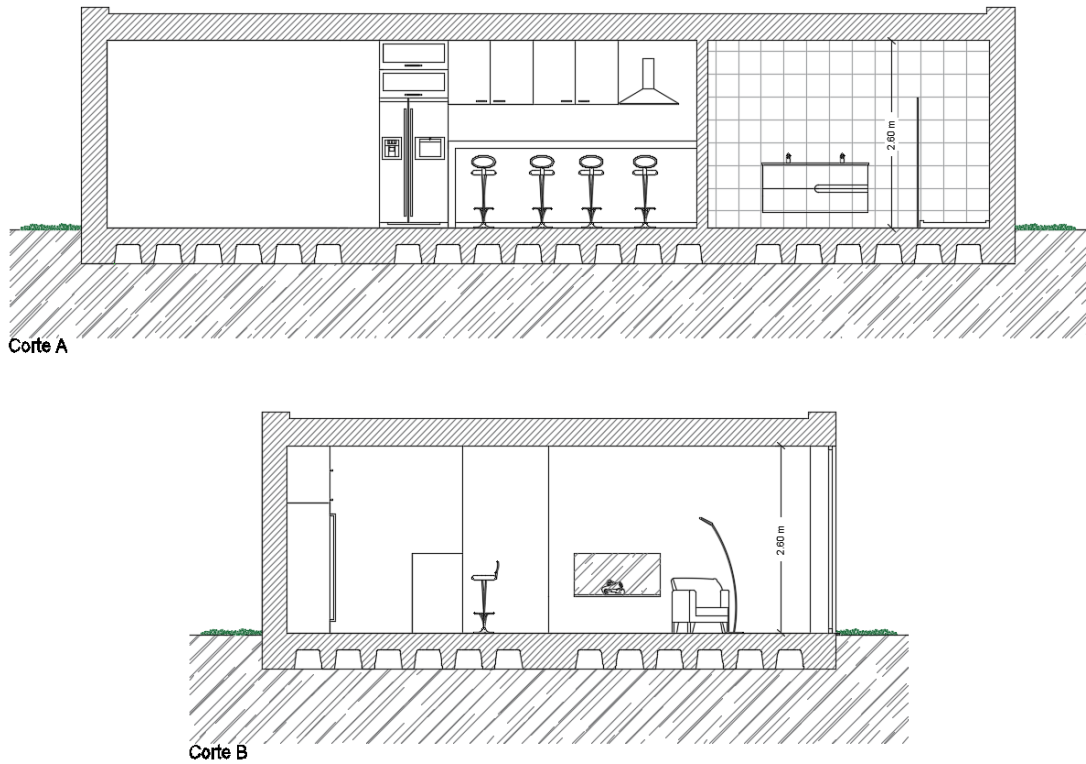


Figura 3.5 – Corte longitudinal e transversal.

3.2 ZONAS CLIMÁTICAS

Uma das variáveis do estudo do desempenho energético do edifício é a localização. É na Nomenclatura das Unidades Territoriais (NUTS) para fins estatísticos de nível III, que se baseia o zonamento climático do País, composto pelos municípios nacionais.

Para o estudo em questão foi adotado as combinações possíveis de zonas climáticas de inverno e verão, de acordo com o Despacho 15793-F/2013 do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, através das tabelas 01, 02, 03, 04 e 05 do despacho.

Os parâmetros climáticos relativos à estação de aquecimento (inverno) são os seguintes:

GD – Números de graus-dias, na base de 18 °C, [°C.dia];

M – Duração da estação de aquecimento, [meses];

G_{Sul} – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a Sul, [kWh/(m².mês)].

Os parâmetros climáticos relativos à estação de arrefecimento (verão), com a duração fixa de 4 meses, ou seja, 2928 horas, são os seguintes:

$\theta_{ext,v}$ – Temperatura exterior média, [°C];

I_{Sol} – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais, [kWh/m²];

Os valores dos parâmetros climáticos X associados a uma determinada localização, são determinados a partir de valores de referência X_{REF} , que é corrigido através das correlações lineares de altitude de declive “ a ”, proporcionais á diferença de altitude do local “ z ” e a altitude de referência X_{REF} para a NUTS III, segundo a seguinte expressão:

$$X = X_{REF} + a (z - z_{REF}) \quad [\text{meses ou } ^\circ\text{C}] \quad (3.1)$$

Todas as localizações e respetivas altitudes foram escolhidas de forma a obter o máximo de combinações possíveis de zonas climáticas de inverno e de verão e estão apresentadas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Localizações e altitudes a estudar.

NUTS III	Município	Z [m]	Zona climática	
			Inverno	Verão
R.A. Madeira	Funchal	425	I1	V1
Grande Porto	Porto	100	I1	V2

Alentejo Central	Évora	250	I1	V3
Pinhal Litoral	Porto de Mós	185	I2	V1
Cávado	Braga	200	I2	V2
Cova da Beira	Covilhã	550	I2	V3
Alto Trás-os-Montes	Montalegre	950	I3	V1
Serra da Estrela	Seia	550	I3	V2
Alto Trás-os-Montes	Macedo de Cavaleiros	565	I3	V3

A tabela 3.2 apresenta os parâmetros climáticos para a estação de aquecimento (inverno) obtidos para os municípios escolhidos.

Tabela 3.2 – Parâmetros climáticos para a estação de aquecimento.

Município	Z [m]	Z_{REF} [m]	M [meses]	GD [°C.dia]	G_{sol} [kWh/(m ² .mês)]
Funchal	425	380	3,2	686	105
Porto	100	94	6,2	1260	130
Évora	250	221	5,4	1182	150
Porto de Mós	185	126	6,6	1435	140
Braga	200	171	6,8	1529	125
Covilhã	550	507	7,1	1747	140
Montalegre	950	680	7,3	2393	125
Seia	550	553	7,5	1846	135
Macedo de Cavaleiros	565	680	7,3	1854	125

A tabela 3.3 apresenta os parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento (verão) obtidos para os municípios escolhidos.

Tabela 3.3 – Parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento.

Município	Z [m]	Z_{REF} [m]	$\theta_{ext,v}$ [°C]	I_{sol} [kWh/m ²] acumulados de junho a setembro								
				0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
				0°	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Funchal	425	380	19,9	580	195	260	325	320	280	320	325	260
Porto	100	94	20,9	800	220	350	490	490	425	490	490	350
Évora	250	221	24,3	850	225	370	510	500	415	500	510	370
Porto de Mós	185	126	20,0	830	225	360	500	495	415	495	500	360
Braga	200	171	20,6	795	220	345	485	490	425	490	485	345
Covilhã	550	507	22,2	825	225	360	495	495	425	495	495	360
Montalegre	950	680	19,6	790	220	345	480	485	425	485	480	345

Seia	550	553	21,0	820	225	355	495	495	420	495	495	355
Macedo de Cavaleiros	565	680	22,3	790	220	345	480	485	425	485	480	345

A zona climática I1-V1 apenas se verifica nas Regiões Autónomas. Como para estas regiões os requisitos regulamentares são diferentes dos das localizações continentais e pelo facto de as soluções construtivas terem sido definidas de acordo com os limites máximos de Portugal Continental, o município de Funchal não foi considerado no presente estudo.

3.3 DEFINIÇÃO DE ENVOLVENTE

O edifício em estudo apresenta os compartimentos (cozinha/sala/hall, quarto e quarto de banho) como espaços úteis e como espaço não útil as cúpulas ventiladas presentes na laje de pavimento.

Este espaço não útil como é fortemente ventilado toma-se o coeficiente de redução de perdas b_{tr} unitário, de acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, presente na nota da tabela 22.

Para a marcação do traçado da envolvente do edifício recorreu-se à seguinte simbologia e código de cores, ilustrado na figura 3.6.







			Envolvente exterior
			Envolvente interior com requisitos de exterior

Figura 3.6 – Simbologia e códigos de cores da marcação da envolvente.

A figura 3.7 apresenta em duas plantas a marcação da envolvente de pavimento e cobertura respetivamente.

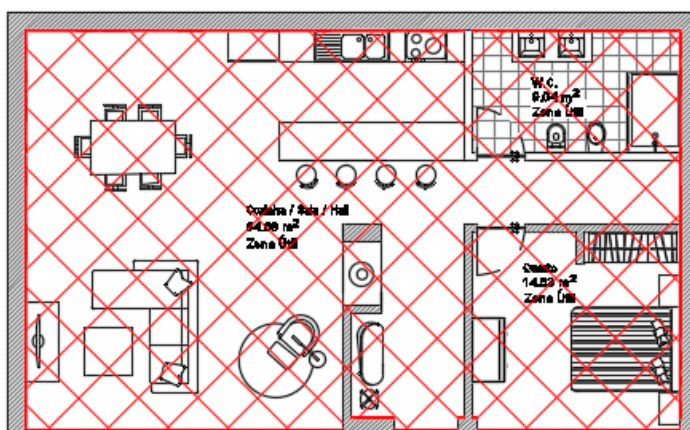
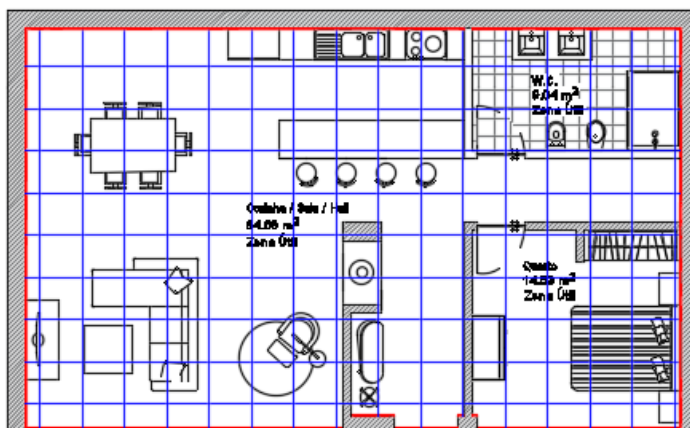


Figura 3.7 – Plantas com definição da envolvente.

A figura 3.8 representa em corte a marcação da envolvente na cobertura, paredes e pavimento.

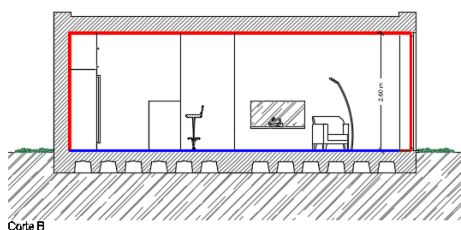
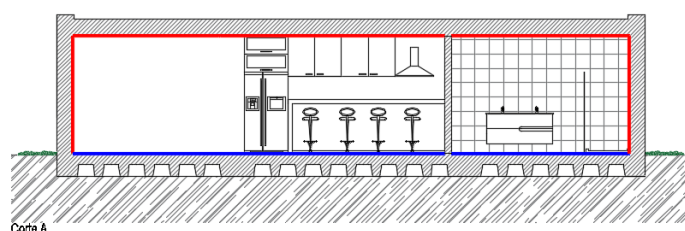


Figura 3.8 – Cortes com a definição da envolvente.

3.4 REQUISITOS DE QUALIDADE TÉRMICA

3.4.1 Coeficiente de transmissão térmica superficial, U

O valor do coeficiente de transmissão térmica, U , de acordo com o regulamento, caracteriza a transferência de calor que ocorre entre os ambientes ou meios que os separa.

A tabela I.05B da Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro, apresenta os coeficientes de transmissão térmica superficial máximos admissíveis de elementos opacos e de vãos envidraçados, $U_{máx}$, indicados na tabela 3.4, para Portugal continental e para o tipo de envolvente presente no edifício em estudo.

Neste caso, vai ter-se em conta os limites máximos para as três zonas climáticas de inverno, de modo a definir as soluções construtivas base para cada localização.

Tabela 3.4 – Valores de $U_{máx}$ para os elementos da envolvente.

$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]		Zona Climática		
Zona corrente da envolvente:		I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com $b_{tr} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30
Vãos envidraçados, (U_w)		2,80	2,40	2,20

3.4.1.1 Envolvente opaca

De acordo com o ponto 2.1 do Despacho n.º 15793-K/2013, a metodologia de cálculo do coeficiente de transmissão térmica de elementos opacos é a indicada na norma europeia EN ISO 6946.

Assim o valor de U de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é calculado pela seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})] \quad (3.2)$$

Em que:

R_j – Resistência térmica da camada j , [(m².°C)/W];

R_{si} – Resistência térmica interior, [(m².°C)/W];

R_{se} – Resistência térmica exterior, [(m².°C)/W].

Para os cálculos dos coeficientes de transmissão térmica foi consultado a tabela 01 do Despacho 15793-K/2013 e o ITE50.

Em seguida irão ser apresentadas as diferentes soluções construtivas adotadas para a envolvente opaca do protótipo.

- **Paredes exteriores**

A figura 3.9 representa a solução construtiva base para as paredes exteriores do edifício protótipo a utilizar em todas as localizações mediante as três zonas climáticas de inverno. Esta é constituída do exterior para o interior por:

- Reboco exterior de argamassa reforçada ($1800-2000 \text{ kg/m}^3$), espessura de 0,005 m e resistência térmica de $0,004 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Isolamento térmico de poliestireno expandido (EPS), com massa volúmica aparente seca superior a 20 kg/m^3 , espessura e resistência térmica variável consoante a zona climática:
 - Zona climática I1 – 0,06 m e resistência térmica de $1,622 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$;
 - Zona climática I2 – 0,08 m e resistência térmica de $2,162 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$;
 - Zona climática I3 – 0,10 m e resistência térmica de $2,703 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$.
- Reboco de argamassa ($1800-2000 \text{ kg/m}^3$), espessura de 0,02 m e resistência térmica de $0,015 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Bloco de betão normal, espessura de 0,25 m e resistência térmica de $0,33 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$;
- Gesso projetado ($600-900 \text{ kg/m}^3$), espessura de 0,02 m e resistência térmica de $0,067 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W}$.

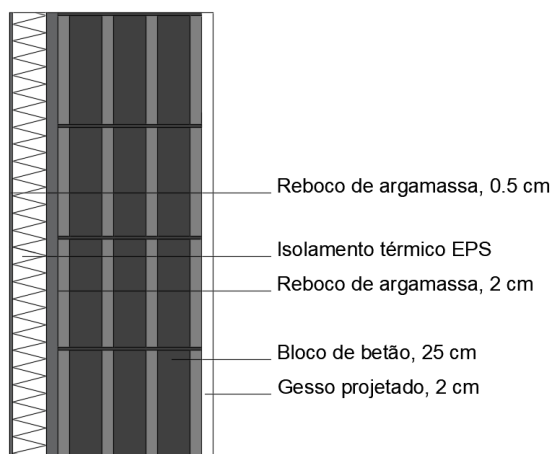


Figura 3.9 – Pormenor construtivo base das paredes exteriores.

A tabela 3.5 apresenta os coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores mediante a zona climática de inverno.

Tabela 3.5 – Valores de U para as paredes exteriores.

Zona Climática	U [W/(m ² .°C)]	$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]	Observações
I1	0,45	0,50	Verifica
I2	0,36	0,40	Verifica
I3	0,30	0,35	Verifica

• Cobertura

A figura 3.10 representa a solução construtiva base para a cobertura do edifício protótipo a utilizar em todas as localizações escolhidas mediante as três zonas climáticas de inverno. Esta é constituída do exterior para o interior por:

- Camada de seixo/brita de cor clara, espessura de 0,05 m e resistência térmica de 0,025 m².°C/W;
- Isolamento térmico de poliestireno expandido extrudado (XPS), (25-40 kg/m³), espessura e resistência térmica variável consoante a zona climática:
 - Zona climática I1 – 0,08 m e resistência térmica de 2,162 (m².°C)/W;
 - Zona climática I2 – 0,10 m e resistência térmica de 2,703 (m².°C)/W;
 - Zona climática I3 – 0,12 m e resistência térmica de 3,243 (m².°C)/W.
- Tela de impermeabilização;
- Camada de betão leve (800-1000 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,061 (m².°C)/W;
- Laje maciça de betão armado, espessura de 0,20 m e resistência térmica de 0,10 (m².°C)/W;
- Gesso projetado (600-900 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,067 (m².°C)/W.

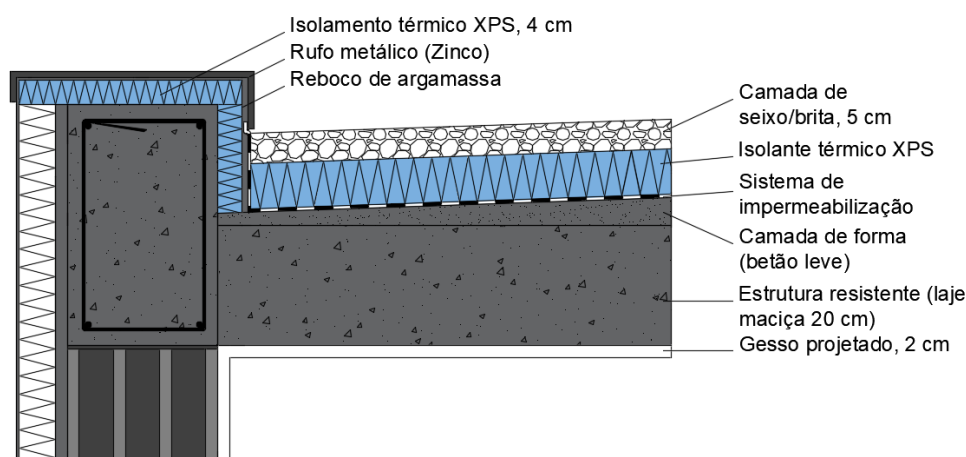


Figura 3.10 – Pormenor construtivo base da cobertura.

A tabela 3.6 apresenta os coeficientes de transmissão térmica da cobertura mediante a zona climática de inverno.

Tabela 3.6 – Valores de U para a cobertura.

Zona Climática	U (fluxo ascendente) [W/(m ² .°C)]	$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]	Observações
I1	0,39	0,40	Verifica
I2	0,32	0,35	Verifica
I3	0,28	0,30	Verifica

- **Pavimento sobre vazio sanitário**

A figura 3.11 representa a solução construtiva base para o pavimento do edifício protótipo a utilizar em todas as localizações escolhidas mediante as três zonas climáticas de inverno. Esta é constituída do exterior para o interior por:

- Laje maciça de betão armado (sistema copulex), espessura de 0,05 m e resistência térmica de 0,025 (m².°C)/W;
- Isolamento térmico de poliestireno expandido extrudido (XPS), (25-40 kg/m³), espessura e resistência térmica variável consoante a zona climática:
 - Zona climática I1 – 0,08 m e resistência térmica de 2,162 (m².°C)/W;
 - Zona climática I2 – 0,10 m e resistência térmica de 2,703 (m².°C)/W;
 - Zona climática I3 – 0,12 m e resistência térmica de 3,243 (m².°C)/W.
- Camada de betão leve (800-1000 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,152 (m².°C)/W;
- Revestimento de piso.

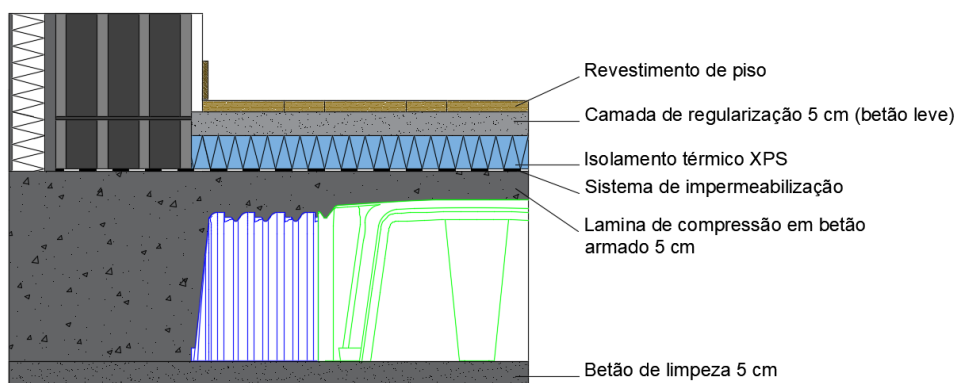


Figura 3.11 – Pormenor construtivo base do pavimento.

A tabela 3.7 apresenta os coeficientes de transmissão térmica do pavimento mediante a zona climática de inverno.

Tabela 3.7 – Valores de U para o pavimento.

Zona Climática	U [W/(m ² .°C)]	$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]	Observações
I1	0,37	0,40	Verifica
I2	0,31	0,35	Verifica
I3	0,27	0,30	Verifica

- **Pontes térmicas planas (PTP)**

No caso de estudo existem dois tipos de pontes térmicas planas, a produzida com as vigas laterais e através dos pilares existentes na parede exterior. A figura 3.12 , representa em pormenor os dois casos de zona de ponte térmica, que são constituídas do exterior para o interior por:

- Reboco exterior de argamassa reforçada (1800-2000 kg/m³), espessura de 0,005 m e resistência térmica de 0,004 (m².°C)/W;
- Isolamento térmico de poliestireno expandido (EPS), com massa volúmica aparente seca superior a 20 kg/m³, espessura e resistência térmica variável consoante a zona climática:
 - Zona climática I1 – 0,06 m e resistência térmica de 1,622 (m².°C)/W;
 - Zona climática I2 – 0,08 m e resistência térmica de 2,162 (m².°C)/W;
 - Zona climática I3 – 0,10 m e resistência térmica de 2,703 (m².°C)/W.
- Reboco de argamassa (1800-2000 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,015 (m².°C)/W;
- Pilar/viga em betão armado, espessura de 0,25 m e resistência térmica de 0,125 (m².°C)/W;
- Gesso projetado (600-900 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,067 (m².°C)/W.

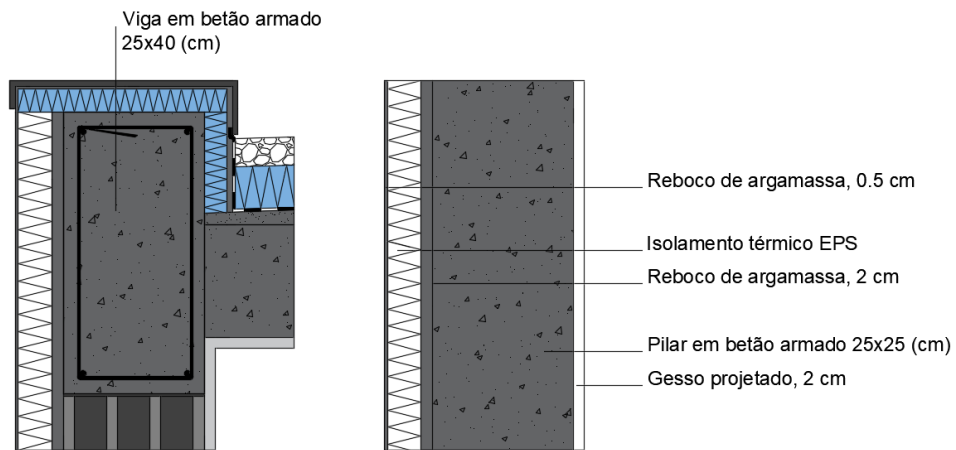


Figura 3.12 – Pormenor construtivo base das pontes térmicas planas (viga e pilar).

A figura 3.13 apresenta a planta da estrutura da habitação representando os pilares, vigas e lajes. Com as seguintes dimensões:

- Pilares apresentam uma secção de 0,25x0,25 (m);
- As vigas V1, V2, V5 e V6 apresentam uma secção de 0,25x0,40 (m);
- As vigas V3 e V4 apresentam uma secção de 0,25x0,50 (m);
- As lajes maciças apresentam uma altura de 0,20 m.

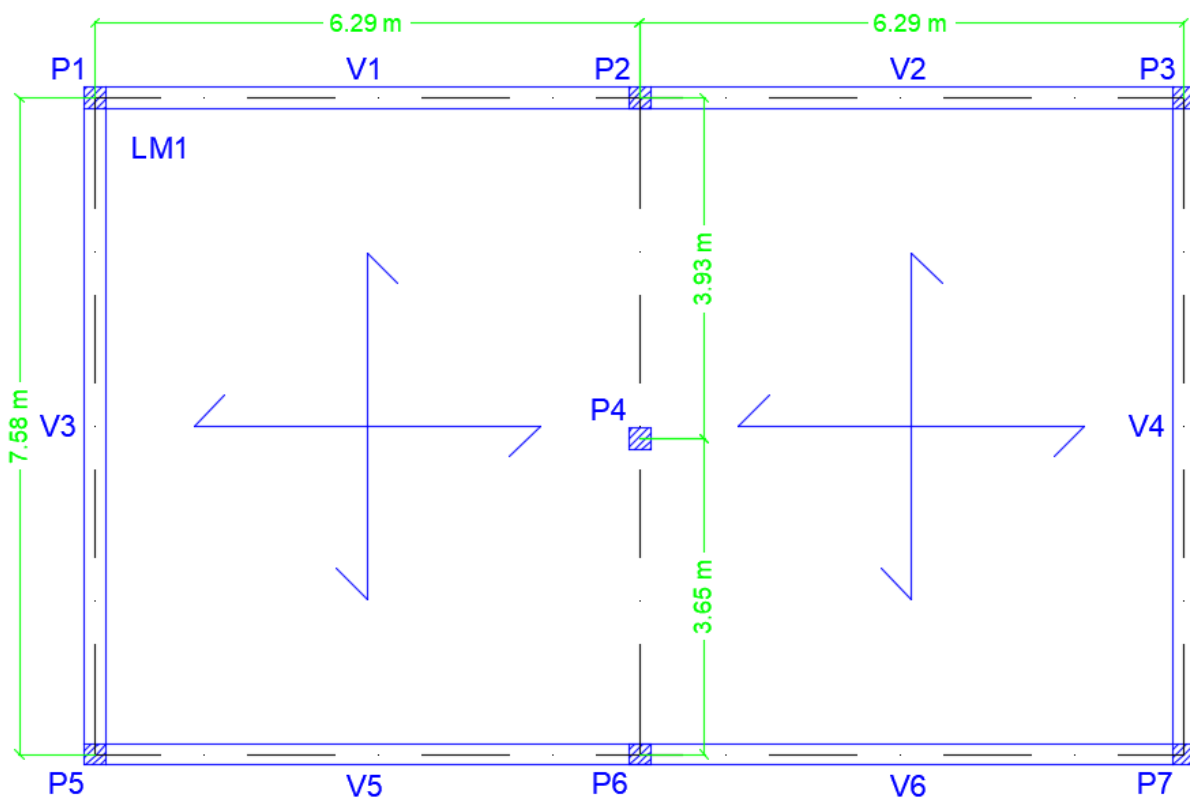


Figura 3.13 – Planta da estrutura do edifício em estudo.

A tabela 3.8 apresenta os coeficientes de transmissão térmica das pontes térmicas planas mediante a zona climática de inverno.

Tabela 3.8 – Valores de U para as PTP.

Zona Climática	U_{PTP} [W/(m ² .°C)]	$U_{máx}$ [W/(m ² .°C)]	Observações
I1	0,50	0,90	Verifica
I2	0,39	0,90	Verifica
I3	0,32	0,90	Verifica

• Paredes Interiores

A figura 3.14 representa a solução construtiva para as paredes interiores do edifício, constituídas do exterior para o interior por:

- Gesso projetado (600-900 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,067 (m².°C)/W;
- Tijolo cerâmico furado, espessura de 0,11m e resistência térmica de 0,27 (m².°C)/W;
- Gesso projetado (600-900 kg/m³), espessura de 0,02 m e resistência térmica de 0,067 (m².°C)/W.

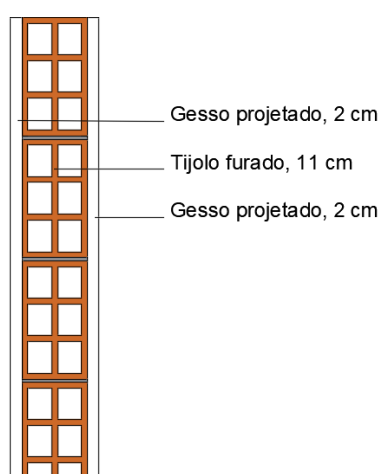


Figura 3.14 – Pormenor da parede interior.

3.4.1.2 Vãos envidraçados

Com o objetivo de estudar a influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico do edifício, foram definidas várias soluções construtivas para estes elementos.

A tabela 3.9 apresenta os tipos de caixilharia considerados e respetivos dados técnicos. A escolha teve por base quatro tipos de material (alumínio, PVC, fibra de vidro e madeira). Foi considerado uma

caixilharia de alumínio sem corte térmico, ou seja com um alto coeficiente de transmissão térmica U_f , para servir de comparação face às outras.

Tabela 3.9 – Caixilharias a estudar.

Caixilharia	U_f [W/(m ² .°C)]	Classe de permeabilidade ao ar
Caixilharia de alumínio sem corte térmico (Anicolor – sistema AZ)	6,30	4
Caixilharia de alumínio com corte térmico (Anicolor – sistema AKi)	2,10	4
Caixilharia de PVC (Winbel – sistema W70)	1,30	4
Caixilharia de fibra de vidro (Boavista – sistema BWTT60)	1,87	4
Caixilharia de madeira (Gercima – sistema R68)	2,40	4

A tabela 3.10 apresenta os tipos de vidro selecionados. Assim como na análise comparativa dos tipos de caixilhos, também na definição dos vidros foi considerado uma composição de vidro de qualidade fraca (vidro T1). Os restantes vidros selecionados apresentam um compromisso entre o coeficiente de transmissão térmica e o coeficiente de transmissão luminosa, de modo a garantir um bom isolamento térmico e uma boa percentagem de passagem de luz visível para o interior, permitindo melhor iluminação natural e consequentemente diminuir o uso de iluminação artificial. Além disso, os vidros escolhidos apresentam diferentes fatores solares, fator este que condiciona os ganhos de calor pelos envidraçados nas duas estações. Para a determinação das características das várias composições recorreu-se ao software *Guardian Configurator* do fabricante *Guardian Glass*.

Tabela 3.10 – Composições de vidro a estudar.

ID	Tipologia	Composição	U_g [W/(m ² .°C)]	$g_{L,vi}$ [%]	t_v [%]
T1	Duplo	6 mm inc. + Cx.16 + 5mm inc.	2,71	75,2	80,6
T2	Duplo	6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2	1,12	62,6	81,0
T3	Duplo	6 mm SunGuard SNX 60 + Cx. 16 Árgon + 5 mm ExtraClear	1,04	29,3	59,4
T4	Triplo	4 mm ClimaGuard Premium 2 + Cx14 Árgon + 4 mm ExtraClear + Cx14 Argon 4 mm ClimaGuard Premium 2	0,64	52,7	74,1

A tabela 3.11 apresenta o tipo de dispositivo de proteção solar considerado. Foi estipulado uma proteção exterior para todos os vãos envidraçados, o estore veneziano de lâminas metálicas.

Tabela 3.11 – Dispositivo de proteção solar a estudar.

Tipo de proteção	Dispositivo	g_{Tvc}
Exterior	Estore veneziano de lâminas metálicas	0,09

O valor apresentado é referente ao fator solar dos vãos envidraçados com um vidro duplo corrente com o dispositivo de proteção g_{Tvc} , sendo posteriormente corrigido conforme informação do fabricante do vidro.

Para o cálculo dos coeficientes de transmissão térmicas dos vãos envidraçados, recorreu-se às seguintes expressões, de acordo com a norma EN 10077-1:

$$U_{wdn} = \frac{U_n + U_w}{2} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})] \quad (3.3)$$

$$U_n = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})] \quad (3.4)$$

$$U_w = \frac{A_f U_f + A_g U_g + l_g \psi_g}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})] \quad (3.5)$$

Em que:

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

U_n – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado mais proteção, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

U_w – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

ΔR – Resistência térmica adicional, $[(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}]$;

A_f – Área do caixilho, $[\text{m}^2]$;

U_f – Coeficiente de transmissão térmica da caixilharia, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

A_g – Área do vidro, $[\text{m}^2]$;

U_g – Coeficiente de transmissão térmica do vidro, $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

l_g – Perímetro de ligação entre a caixilharia e o vidro, $[\text{m}]$;

ψ_g – Coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro, $[\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})]$;

A tabela 3.12 apresenta os coeficientes de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro ψ_g , de acordo com a norma EN 10077-1:

Tabela 3.12 – Valor do coeficiente de transmissão térmica linear relativo à ligação entre a caixilharia e o vidro.

Tipo de caixilharia	Valor do coeficiente de transmissão térmica linear para diferentes tipo de vidro, ψ_g [W/(m.°C)]		
	Vidros duplos ou triplos não revestidos (lâmina de ar ou gás)	Vidros duplo e triplos de baixa emissividade (lâmina de ar ou gás)	Simplex
Madeira e PVC	0,06	0,08	0
Metálica com corte térmico	0,08	0,11	
Metálica sem corte térmico	0,02	0,03	

Para o caso em estudo, vão ser considerado o seguinte valor de resistência térmica adicional ΔR , de acordo com a norma EN 10077-1:

- Estores venezianos de lâminas metálicas: $\Delta R = 0,09$;

A tabela 3.13, apresenta os coeficientes de transmissão térmica dos vão envidraçados U_{wdn} para diferentes constituições de caixilharia e vidro. A fração envidraçada f_g , foi determinada pelo quociente da área do vidro e a área do vão, através de desenhos técnicos fornecidos pelos fabricantes das caixilhariás em estudo. As caixilhariás de alumínio s/ corte térmico e de fibra de vidro não tem capacidade de guarnição do tipo de vidro T4, devido à sua elevada espessura.

A escala de cores identifica os valores apresentados nas conclusões da análise da tabela, mais à frente indicadas.

Tabela 3.13 – Coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados.

Vão	Caixilharia	Vidro	U_w W/(m ² .°C)	F_g	U_n W/(m ² .°C)	U_{wdn} W/(m ² .°C)	Requisitos mínimos de $U_{máx}$		
							I1 $U_{wdn} \leq 2,80$	I2 $U_{wdn} \leq 2,40$	I3 $U_{wdn} \leq 2,20$
V1	Alumínio (AZ - Anicolor)	T1	3,45	0,81	2,63	3,04	Não verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	2,23		1,86	2,05	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	2,17		1,82	2,00	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	-		-	-	-	-	-
	Alumínio (AKi - Anicolor)	T1	2,80	0,81	2,23	2,52	Verifica	Não Verifica	Não Verifica
		T2	1,58		1,39	1,48	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,52		1,34	1,43	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	1,20		1,08	1,14	Verifica	Verifica	Verifica

	PVC (W70 - Winbel)	T1	2,60	0,81	2,10	2,35	Verifica	Verifica	Não verifica
		T2	1,35		1,21	1,28	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,29		1,16	1,22	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	0,97		0,89	0,93	Verifica	Verifica	Verifica
	Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T1	2,71	0,82	2,18	2,45	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	1,45		1,29	1,37	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,39		1,24	1,31	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	-		-	-	-	-	-
	Madeira (R68 - Gercima)	T1	2,80	0,79	2,24	2,52	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	1,58		1,39	1,48	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,52		1,34	1,43	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	1,20		1,09	1,14	Verifica	Verifica	Verifica
V2	Alumínio (AZ - Anicolor)	T1	3,80	0,71	2,83	3,31	Não verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	2,73		2,19	2,46	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T3	2,68		2,16	2,42	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T4	-		-	-	-	-	-
	Alumínio (AKi - Anicolor)	T1	2,70	0,71	2,17	2,44	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	1,63		1,42	1,53	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,58		1,38	1,48	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	1,29		1,16	1,23	Verifica	Verifica	Verifica
	PVC (W70 - Winbel)	T1	2,45	0,73	2,01	2,23	Verifica	Verifica	Não verifica
		T2	1,34		1,19	1,26	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,28		1,15	1,21	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	0,99		0,91	0,95	Verifica	Verifica	Verifica
Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T1	2,61	0,73	2,11	2,36	Verifica	Verifica	Não verifica	
	T2	1,49		1,31	1,40	Verifica	Verifica	Verifica	
	T3	1,43		1,27	1,35	Verifica	Verifica	Verifica	
	T4	-		-	-	-	-	-	
Madeira (R68 - Gercima)	T1	2,76	0,74	2,21	2,48	Verifica	Não verifica	Não verifica	
	T2	1,62		1,42	1,52	Verifica	Verifica	Verifica	
	T3	1,57		1,37	1,47	Verifica	Verifica	Verifica	
	T4	1,27		1,14	1,21	Verifica	Verifica	Verifica	
V3	Alumínio (AZ - Anicolor)	T1	3,58	0,77	2,71	3,14	Não verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	2,42		1,99	2,21	Verifica	Verifica	Não verifica
		T3	2,36		1,95	2,16	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	-		-	-	-	-	-
	Alumínio (AKi - Anicolor)	T1	2,78	0,77	2,22	2,50	Verifica	Não verifica	Não verifica
		T2	1,62		1,41	1,52	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,56		1,37	1,47	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	1,25		1,12	1,19	Verifica	Verifica	Verifica
	PVC (W70 - Winbel)	T1	2,56	0,78	2,08	2,32	Verifica	Verifica	Não verifica
		T2	1,36		1,21	1,29	Verifica	Verifica	Verifica
		T3	1,30		1,17	1,23	Verifica	Verifica	Verifica
		T4	0,99		0,91	0,95	Verifica	Verifica	Verifica
Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T1	2,69	0,79	2,17	2,43	Verifica	Não verifica	Não verifica	
	T2	1,48		1,31	1,39	Verifica	Verifica	Verifica	
	T3	1,42		1,26	1,34	Verifica	Verifica	Verifica	
	T4	-		-	-	-	-	-	

Madeira (R68 - Gercima)	T1	2,79	0,77	2,23	2,51	Verifica	Não verifica	Não verifica
	T2	1,62		1,41	1,51	Verifica	Verifica	Verifica
	T3	1,56		1,37	1,46	Verifica	Verifica	Verifica
	T4	1,25		1,12	1,19	Verifica	Verifica	Verifica

Através da tabela podemos verificar que algumas das constituições dos vãos envidraçados considerados não cumprem os limites regulamentares. Esta não conformidade deve-se, como já referido, à adição de uma caixilharia e tipo de vidro de baixa qualidade térmica (sistema de alumínio sem corte térmico e o vidro T1) ao grupo de caixilhariás e vidros selecionados. As constituições não regulamentares não serão utilizadas na análise final da influência do desempenho térmico do edifício, no entanto serão alvo de análise de outros fatores influentes como a orientação e a localização de forma a potenciar os resultados devido à sua fraca qualidade e servirão de base de comparação na análise económica.

De todas as constituições presentes na tabela 3.13 podemos concluir que:

- A constituição que apresenta melhor U_{wdn} é a caixilharia de PVC com o vidro T4, com os seguintes valores sombreados a verde na tabela:
 - 0,93 W/(m².°C) para o vão V1;
 - 0,95 W/(m².°C) para o vão V2;
 - 0,95 W/(m².°C) para o vão V3.
- A constituição que apresenta pior U_{wdn} é a caixilharia de alumínio sem corte térmico com o vidro T1, esta não verifica os requisitos mínimos regulamentares nas três zonas climáticas e apresenta os seguintes valores sombreados a vermelho na tabela:
 - 3,04 W/(m².°C) para o vão V1;
 - 3,31 W/(m².°C) para o vão V2;
 - 3,14 W/(m².°C) para o vão V3.
- A constituição que apresenta pior U_{wdn} para a zona climática I1 é a caixilharia de madeira com o vidro T1, com os seguintes valores sombreados a laranja na tabela:
 - 2,52 W/(m².°C) para o vão V1;
 - 2,48 W/(m².°C) para o vão V2;
 - 2,51 W/(m².°C) para o vão V3.
- As constituições que apresenta pior U_{wdn} para a zona climática I2 são as seguintes com os respetivos valores sombreados a amarelo na tabela:

- Caixilharia de PVC com vidro T1: 2,35 W/(m².°C) para o vão V1;
 - Caixilharia fibra de vidro com vidro T1: 2,36 W/(m².°C) para o vão V2;
 - Caixilharia de PVC com vidro T1: 2,32 W/(m².°C) para o vão V3.
- As constituições que apresentam pior U_{wdn} para a zona climática I3 são as seguintes com os respetivos valores sombreados a azul na tabela:
- Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro T2: 2,05 W/(m².°C) para o vão V1;
 - Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro T2: com: 1,53 W/(m².°C) para o vão V2;
 - Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro T3 com: 2,16 W/(m².°C) para o vão V3.

Relativamente aos resultados obtidos, podemos afirmar que o tipo de vidro tem maior influência no desempenho térmico dos vãos envidraçados em relação ao tipo caixilharia, devido à grande dimensão dos vãos e conseqüente maior área envidraçada.

3.4.2 Inércia térmica

De acordo com o disposto no ponto 6 do despacho 15793-K/2013, a massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t , calcula-se pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum_i M_{S_i} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad [\text{Kg/m}^2] \quad (3.6)$$

Em que:

M_{S_i} – Massa superficial útil do elemento i , [Kg/m²];

r – Fator de redução da massa superficial útil;

S_i – Área da superfície interior do elemento i , [m²];

A_p – Área do pavimento útil interior, [m²].

A tabela 3.14 apresenta a classe de inércia térmica de acordo com o valor da massa superficial útil por metro quadrado de área de pavimento, I_t .

Tabela 3.14 – Classes de inércia térmica.

Classe de inércia térmica	I_t [Kg/m ²]
Fraca	$I_t < 150$

Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

A massa superficial útil de cada elemento de construção, depende da sua localização no edifício e da sua constituição, particularmente da posição do seu isolamento térmico e das características das soluções de revestimento superficial.

Os casos genéricos de elementos construtivos são os seguintes, de acordo com o regulamento:

- EL1: Elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos em contacto com outra fração autónoma ou edifício adjacente;
- EL2: Elementos em contacto com o solo;
- EL3: Elementos de compartimentação interior da fração.

Para o caso em estudo devemos ter em consideração algumas condições presentes no ponto 6.1 do despacho 15793-K/2013, para determinar a massa superficial útil de cada elemento M_{S_i} :

- Para todos os elementos construtivos EL1, o valor de M_{S_i} nunca deve ser superior a 150 Kg/m^2 , além disso como todos os elementos do tipo EL1 do edifício em estudo apresentam uma camada de isolamento térmico, o valor de $M_{S_i} = m_i$, em que m_i é a massa do elemento desde do isolamento térmico até à face interior.
- Para os elementos construtivos EL3, o valor de M_{S_i} , nunca poderá ser superior a 300 Kg/m^2 e como estes elementos não apresentam isolamento térmico, o valor de $M_{S_i} = m_t$, onde m_t , corresponde à massa total do elemento.

O fator de redução da massa superficial r , depende da resistência térmica do revestimento superficial interior. A tabela 3.15 apresenta os fatores de redução da massa superficial r para o presente edifício de acordo com as condições do ponto 6.2 do despacho 15793-K/2013.

Tabela 3.15 – Fator de redução da massa superficial, r .

Revestimento interior	Tipo de elemento	R [(m ² .°C)/W]	r [-]
Gesso projetado	EL1 e EL3	0,067	1
Mosaico cerâmico	EL1	0,024	1
Tacos de madeira densa	EL1	0,111	1

A tabela 3.16 apresenta o cálculo detalhado da inércia térmica do edifício em estudo.

Tabela 3.16 – Cálculo da inércia térmica.

	S_i [m ²]	Massa total [kg/m ²]	M_{S_i} [kg/m ²]	r	$M_{S_i} \cdot r \cdot S_i$ [kg]
Elementos – EL1:					
Paredes exteriores	70,47	453,00	150,00	1	10569,8
Cobertura exterior	88,89	523,00	150,00	1	13333,5
Pavimentos interiores em contacto com zonas não úteis	88,89	45,00	45,00	1	4000,05
Pontes térmicas planas (vigas e pilares)	2,13	665,50	150,00	1	319,05
Elementos – EL3:					
Paredes Interiores	48,76	173,00	173,00	1	8435,48
					Σ_i 36657,83

Sendo $A_p = 88,89 \text{ m}^2$, temos:

$$I_t = \frac{36657,83}{88,89} = 412,40 \text{ Kg/m}^2 > 400 \text{ Kg/m}^2 \rightarrow \text{Inércia Forte}$$

3.4.3 Fator solar

De acordo com a portaria 349-B/2013 de 29 de novembro, os vãos envidraçados não orientados no quadrante norte que apresentem um área de envidraçados A_{env} , superior a 5% da área de pavimento do compartimento servido por estes A_{pav} , devem apresentar um fator solar global do vão envidraçado com os dispositivos de proteção totalmente ativados (g_T), que cumpra as seguintes condições:

$$Se A_{env} \leq 15\% \cdot A_{pav} \rightarrow g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \quad (3.7)$$

$$Se A_{env} > 15\% \cdot A_{pav} \rightarrow g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)} \quad (3.8)$$

Em que:

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar totalmente ativados;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão envidraçado;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado;

$g_{Tm\acute{a}x}$ – Fator solar global máximo admissível nos vãos envidraçados;

A_{env} – Soma das áreas dos vãos envidraçados do compartimento, [m²];

A_{pav} – Área de pavimento do compartimento, [m²].

De acordo com a tabela I.06 da portaria 349-B/2013, para uma classe de inércia térmica forte temos os seguintes $g_{Tm\acute{a}x}$, para as três zonas climáticas de verão na tabela 3.17.

Tabela 3.17 – Fator solar global máximo admissível.

$g_{Tmáx}$	Zona Climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Forte	0,56	0,56	0,50

A tabela 3.18 apresenta relação de áreas entre dos vãos envidraçados com os respectivos pavimentos de cada compartimento.

Tabela 3.18 – Relação de áreas de envidraçado e pavimento por compartimento.

Compartimento	A_{env} [m ²]	A_{pav} [m ²]	A_{env}/A_{pav}	Observações
Cozinha/Sala/Hall	18,60	65,18	29%	> 15%
Quarto	9,94	14,65	68%	> 15%

Em todos os compartimentos verifica-se que a área de envidraçado é superior a 15% da área do respetivo compartimento, sendo necessário verificar a segunda condição referente à equação 3.8.

A tabela 3.19 apresenta os fatores solares dos vidros em estudo com a proteção solar totalmente ativada para vidros duplos, corrigidos pela seguinte fórmula, conforme indicado no despacho 15793-K de 2013:

$$g_T = g_{L,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{tvc}}{0,75} \quad (3.9)$$

Em que:

g_{tvc} – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar;

$g_{L,vi}$ – Fator solar do vidro conforme informação do fabricante.

Tabela 3.19 – Fatores solares dos vidros com estore veneziano de lâminas metálicas corrigidos.

Tipo de vidro	$g_{L,vi}$	g_{tvc}	g_T
T1	0,752	0,09	0,09
T2	0,626	0,09	0,09
T3	0,293	0,09	0,09
T4	0,527	0,09	0,09

O edifício não apresenta elementos de sombreamento verticais e horizontais e os vãos envidraçados encontram-se a 5 cm da face exterior das paredes. A figura 3.15 apresenta o ângulo de sombreamento que as ombreias e padieiras fazem com o vão envidraçado.

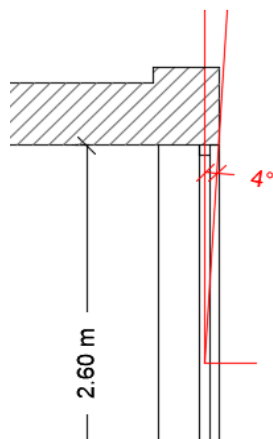


Figura 3.15 – Ângulo de sombreamento.

Para o ângulo de sombreamento de 4° temos os seguintes fatores de sombreamento horizontais e verticais na estação de arrefecimento, na tabela 3.20 de acordo com as tabelas 17 e 19 do despacho 15793-K de 2013. Tendo em consideração que o produto de $F_o \cdot F_f$ não poderá ser superior a 0,9.

Tabela 3.20 – Fatores de sombreamento horizontais e verticais na estação de arrefecimento.

Orientação	F_o	F_f esquerda	F_f direita	F_f	$F_o \cdot F_f$ $\leq 0,9$
N	0,997	1,000	1,000	1,000	0,9
NE	0,981	1,000	0,981	0,981	0,9
NW	0,967	0,995	0,993	0,988	0,9
E	0,957	0,988	0,995	0,983	0,9
W	0,951	0,988	0,988	0,976	0,9
SE	0,957	0,995	0,988	0,983	0,9
SW	0,967	0,993	0,995	0,988	0,9
S	0,981	0,981	1,000	0,981	0,9

A tabela 3.21 apresenta a verificação das condições do ponto 2.3 da portaria 349-B de 2013 já referenciadas no início deste subcapítulo. Esta verificação foi feita com a composição de vidro mais condicionante, ou seja, o tipo T1.

Tabela 3.21 – Verificação dos fatores solares máximos admissíveis.

Compartimento	$g_T \cdot F_o \cdot F_f$	$g_{Tm\acute{a}x} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env}}{A_{pav}}\right)}$	Observações
Cozinha/Sala/Hall	0,08	0,26	Verifica
Quarto	0,08	0,11	Verifica

Como a condição verifica para o menor valor de $g_{Tmáx}$ relativo zona climática V3 e o vidro T1, todas as outras tipologias de vidro estão em conformidade, pois apresentam um fator solar inferior.

3.4.4 Pontes térmicas lineares (PTL)

O despacho 15793-K/2013 apresenta na tabela 07, os valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares ψ , para os diferentes tipos de ligação tendo em conta a posição do isolamento térmico.

A figura 3.16 apresenta a simbologia de marcação das pontes térmicas lineares do edifício e a figura 3.17 apresenta a planta e cortes com a marcação das respetivas PTL.



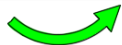

Ponte Térmica Linear	
Simbologia	Designação
	Fachada com pavimento sobre local não aquecido
	Fachada com cobertura
	Duas paredes verticais em ângulo saliente
	Fachada com caixilharia

Figura 3.16 – Simbologia de marcação das PTL.

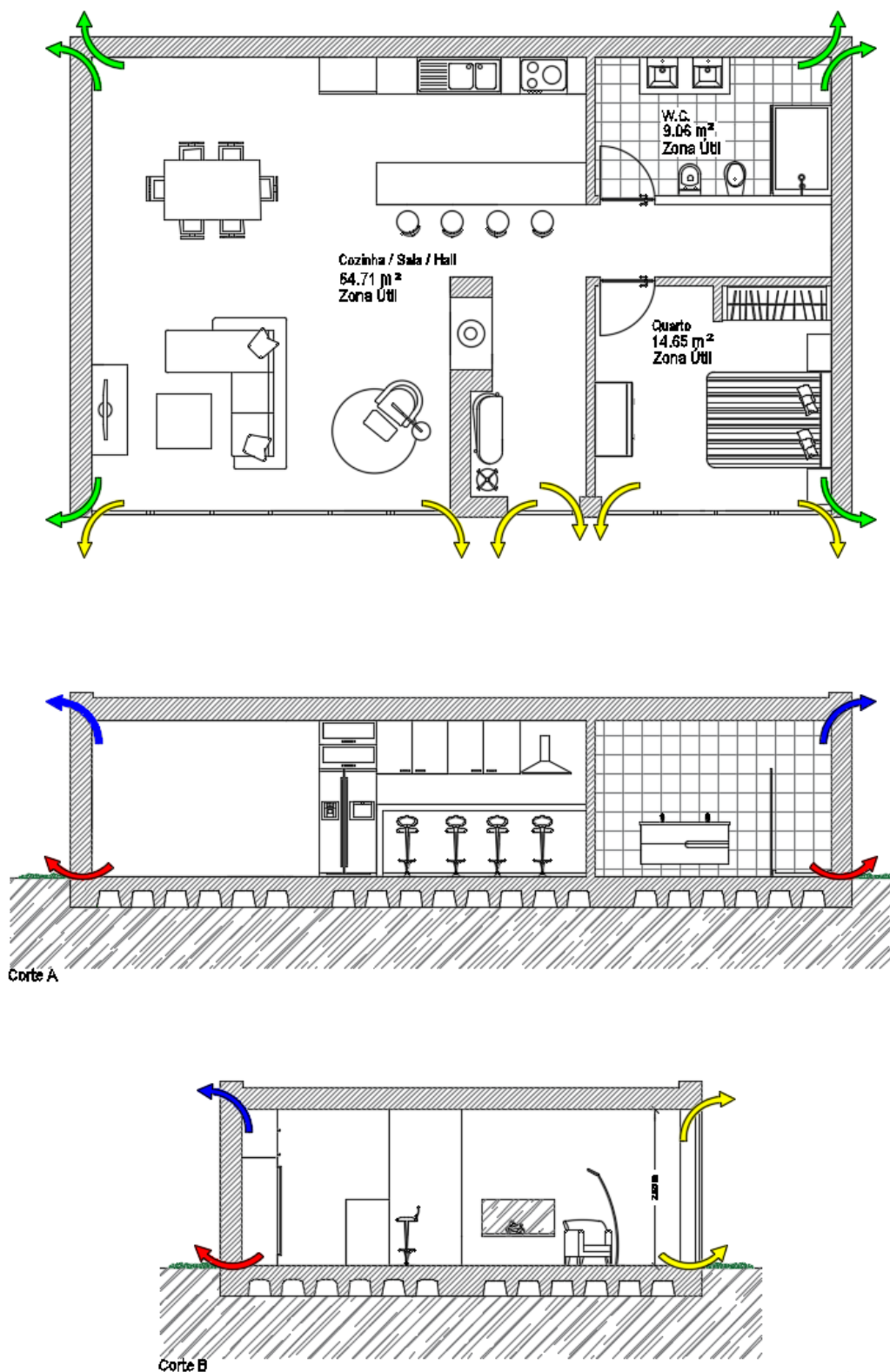


Figura 3.17 – Planta e cortes com marcação das PTL.

A tabela 3.22 apresenta os coeficientes de transmissão térmica lineares presentes na habitação em estudo, para as soluções construtivas adotadas de isolamento térmico pelo exterior e respetivos comprimentos.

Tabela 3.22 – Coeficientes de transmissão térmica lineares ψ [W/(m.°C)] e respetivos comprimentos.

Tipo de ligação		ψ [W/(m.°C)]	Comprimento [m]
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sobre o pavimento	0,5	27,92
Fachada com cobertura	Isolamento sobre a laje de cobertura	0,8	27,92
Duas paredes verticais		0,4	10,4
Fachada com caixilharia	Isolamento térmico da parede contacta a caixilharia	0,1	37,56

3.4.5 Renovação de ar

De acordo com a legislação em vigor, o valor mínimo de taxa de renovação horária de ar nos edifícios de habitação deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora.

Implementando uma ventilação natural no edifício em estudo de acordo com as disposições da norma NP 1037-1, os compartimentos principais devem no mínimo apresentar uma renovação por hora e os compartimentos de serviços quatro renovações por hora. Tendo em conta os quadros 1 e 2 da norma NP 1037-1, para o edifício em estudo temos os seguintes caudais tipo a extrair dos compartimentos em função do seu volume na tabela 3.23.

Tabela 3.23 – Caudais a extrair dos compartimentos.

Compartimento	Tipologia	Área [m ²]	Volume [m ³]	Caudal tipo [m ³ /h]
Cozinha/Sala/Hall	Principal	65,18	169,47	180
Quarto	Principal	14,65	38,09	60
Quarto de banho	Serviço	9,06	23,56	120

De acordo com a norma para um compartimento de serviço com banheira ou duche e mais de 22 m³ de volume, deve ser feito um dimensionamento do caso tendo em conta as exigências mínimas, ou seja, no mínimo quatro renovações de ar por hora. Como o quarto de banho apresenta duche e um volume de 23,56 m³, foi atribuído um caudal tipo de 120 m³/h de modo a simplificar o dimensionamento dos caudais a extrair dos compartimentos.

A admissão será realizada através de grelhas de ventilação a colocar nos vãos envidraçados presentes nos compartimentos cozinha/sala/hall e quarto. A extração do ar do quarto será feita no quarto de banho através de uma conduta, permitindo-se a circulação de ar entre o quarto e o quarto de banho através de

grelhas ou folgas presentes nas portas interiores dos dois compartimentos. A extração do compartimento cozinha/sala/hall será garantida pela hotte do exaustor.

Desta forma, de acordo com os caudais determinados temos as seguintes dimensões de grelhas de admissão, conforme quadro 5 da norma NP 1037-1.

- Cozinha/Sala/Hall com admissão de $180 \text{ m}^3/\text{h}$ → 3 grelhas de 70 cm^2 , perfazendo um total de 210 cm^2 .
- Quarto com admissão $120 \text{ m}^3/\text{h}$ → 2 grelhas de 70 cm^2 , perfazendo um total de 140 cm^2 .

No que diz respeito à abertura de extração pela conduta no quarto de banho, temos:

- Quarto de banho com extração de $120 \text{ m}^3/\text{h}$ → 280 cm^2 .

Assim considerou-se que o edifício apresenta ventilação natural e as taxas de renovação de ar R_{ph} , foram quantificadas através da folha de cálculo do LNEC, para cada localização e considerando os seguintes dados:

- Meio Urbano: Rugosidade I;
- Número de fachadas expostas: uma;
- Altura do edifício e fração: 2,63 m;
- Todas as caixilharias em estudo apresentam uma classe de permeabilidade 4.

A tabela 3.24 apresenta as taxas de renovação de ar obtidas para cada localização.

Tabela 3.24 – Taxas de renovação de ar R_{ph} .

Município	Z [m]	R_{ph} [h ⁻¹]	Observações
Porto	100	0,40	Verifica
Évora	250	0,40	Verifica
Porto de Mós	185	0,40	Verifica
Braga	200	0,40	Verifica
Covilhã	550	0,41	Verifica
Montalegre	950	0,42	Verifica
Seia	550	0,41	Verifica
Macedo de Cavaleiros	565	0,41	Verifica

3.4.6 Ganhos solares

3.4.6.1 Estação de aquecimento

De acordo com o disposto no ponto 5 do despacho n.º 15793-I/2013 a quantificação dos ganhos solares brutos através dos envidraçados na estação de aquecimento deve seguir a metodologia de cálculo de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{sol,i} = G_{Sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}} \right] \cdot M \quad [\text{kWh}] \quad (3.10)$$

Em que:

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a tabela 01 do despacho n.º 15793-I/2013;

$F_{s,i_{nj}}$ – Fator de obstrução do vão envidraçado n com a orientação j na estação de aquecimento;

$A_{s,i_{nj}}$ – Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²];

j – Índice que corresponde a cada uma das orientações;

n – Índice que corresponde a cada uma das superfícies com a orientação j .

Sendo:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [\text{m}^2] \quad (3.11)$$

Em que:

A_w – Área total do vão envidraçado, [m²];

F_g – Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com o despacho n.º 15793-K/2013, neste caso a fração envidraçada foi determinada pelos desenhos técnicos dos fornecedores das caixilharias;

g_i – Fator solar de inverno, obtido pelo produto do fator de seletividade angular $F_{w,i}$ e o fator solar de inverno $g_{L,vi}$, que difere para cada tipo de vidro considerado. O fator de seletividade angular de inverno toma o valor de 0,9 na estação de aquecimento. A tabela 3.25 apresenta os fatores solares de inverno em função dos tipos de vidro considerados no estudo.

Tabela 3.25 – Fator solar de inverno em função do tipo de vidro.

Vidro	$g_{L,vi}$	$F_{w,i}$	g_i
T1	0,752	0,9	0,677

T2	0,626	0,9	0,563
T3	0,293	0,9	0,264
T4	0,527	0,9	0,474

E:

$$F_{s,ijn} = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad [m^2] \quad (3.12)$$

Em que:

F_h – Fator de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício ou por outros elementos;

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao vão envidraçado;

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado.

No entanto, em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser inferior a 0,27 e produto $F_o \cdot F_f$ não deve ser superior a 0,9.

O fator de sombreamento do horizonte F_h , foi determinado a partir da tabela 15 do despacho n.º 15793-K/2013, adotando um ângulo de horizonte por defeito de 45° relativo a um ambiente urbano. A tabela 3.26 apresenta os fatores de sombreamento horizonte a utilizar em função da orientação na estação de aquecimento.

Tabela 3.26 – Fator de sombreamento horizonte F_h .

Ângulo de horizonte	N	NE/NW	E/W	SE/SW	S
45°	1	0,8	0,58	0,48	0,45

A tabela 3.27 apresenta os fatores de sombreamento de horizonte, horizontais e verticais e a tabela 3.28 apresenta os fatores de sombreamento corrigidos para a estação de aquecimento.

Tabela 3.27 – Fatores de sombreamento em função da orientação.

Orientação	Sombreamento horizonte		Sombreamento por elementos horizontais		Sombreamento por elementos verticais					$F_o \cdot F_f \leq 0,9$
	Ângulo do horizonte	F_h	Ângulo α	F_o	Ângulo β		F_f esquerda	F_f direita	F_f	
					Esquerda	Direita				
N	45°	1	4°	1,000	4°	4°	1,000	1,000	1,000	0,9
NE	45°	0,8	4°	0,992	4°	4°	1,000	0,985	0,985	0,9
E	45°	0,58	4°	0,979	4°	4°	1,000	0,983	0,983	0,9
SE	45°	0,48	4°	0,968	4°	4°	0,996	0,988	0,984	0,9
S	45°	0,45	4°	0,964	4°	4°	0,991	0,991	0,981	0,9
SW	45°	0,48	4°	0,968	4°	4°	0,988	0,996	0,984	0,9

W	45°	0,58	4°	0,979	4°	4°	0,983	1,000	0,983	0,9
NW	45°	0,8	4°	1,000	4°	4°	0,985	1,000	0,985	0,9

Tabela 3.28 – Fatores de sombreamento corrigidos.

X_j	$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	$X \cdot F_s$	Observações	F_s corrigido
0,27	0,9	0,243	Não verifica	1,000
0,33	0,72	0,238	Não verifica	0,818
0,56	0,522	0,292	Verifica	0,522
0,84	0,432	0,363	Verifica	0,432
1	0,405	0,405	Verifica	0,405
0,84	0,432	0,363	Verifica	0,432
0,56	0,522	0,292	Verifica	0,522
0,33	0,72	0,238	Não verifica	0,818

3.4.6.2 Estação de arrefecimento

Na estação de arrefecimento são contabilizados os ganhos solares resultantes da incidência na envolvente opaca e envidraçada, estes calculam-se pela seguinte fórmula de acordo com o despacho n.º 15793-I/2013:

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[I_{solj} \sum_n F_{s,vnj} A_{s,vnj} \right] \quad \text{[kWh]} \quad (3.13)$$

Em que:

$A_{s,vnj}$ – Área efetiva coletora de radiação solar da superfície do elemento n com a orientação j , [m²];

j – Índice correspondente a cada uma das orientações por octante à posição horizontal;

n – Índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j ;

$F_{s,vnj}$ – Fator de obstrução da superfície do elemento n , com orientação j .

A área efetiva coletora de radiação solar da superfície de cada envidraçado n com orientação j , deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$A_{s,vnj} = A_w \cdot F_g \cdot g_v \quad \text{[m}^2\text{]} \quad (3.14)$$

Em que:

g_v – Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento, que considera os dispositivos de proteção solar móveis se encontram ativos uma fração de tempo que depende do octante no qual está orientado, calculado pela seguinte expressão:

$$g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp} \quad (3.15)$$

E:

F_{mv} – Fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados, de acordo com a tabela 14 do despacho n.º 15793-K/2013 em função da orientação do vão;

g_T – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes, ou móveis totalmente ativados;

g_{Tp} – Fator solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar permanentes existentes.

Neste caso em estudo como os dispositivos de proteção solar não são fixos, então:

$$g_{Tp} = F_{w,v} \cdot g_{L,vi} \quad (3.16)$$

Em que:

$F_{w,v}$ – Fator de correção de seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento, de acordo com a tabela 21 do despacho n.º 15793-K/2013 em função da orientação de da tipologia de vidro, plano duplo para o caso em estudo.

As tabelas 3.29 apresentam os fatores solares dos vãos envidraçados na estação de arrefecimento em função da orientação.

Tabela 3.29 – Fatores solares de verão dos envidraçados com estore veneziano de lâminas metálicas.

Orientação	F_{mv}	g_T	$F_{w,v}$	$g_{L,vi}$				g_v			
				T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
N	0	0,09	0,80	0,752	0,626	0,293	0,527	0,602	0,501	0,234	0,422
NE/NW	0,4	0,09	0,85					0,420	0,355	0,185	0,305
S	0,6	0,09	0,75					0,280	0,242	0,142	0,212
SE/SW	0,7	0,09	0,85					0,255	0,223	0,138	0,197
E/W	0,6	0,09	0,85					0,310	0,267	0,154	0,233

Relativamente à área efetiva coletora de radiação solar de um elemento n da envolvente opaca exterior, com orientação j deve ser calculada pela seguinte expressão:

$$A_{s,v_{nj}} = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se} \quad [\text{m}^2] \quad (3.17)$$

Em que:

α – Coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, de acordo com a tabela 08 do despacho n.º 15793-K/2013, em função da cor do revestimento do elemento. No caso em estudo para uma cor clara dos elementos opacos verticais e horizontais temos $\alpha = 0,4$.

A_{op} – Área do elemento da envolvente opaca exterior, [m²];

R_{se} – Resistência térmica superficial exterior igual a 0,04 [W/(m².°C)].

3.5 NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados obtidos referente às necessidades nominais de energia. Como os fatores de localização, orientação e constituição do vão envidraçado têm influência direta apenas nas necessidades nominais de energia útil de aquecimento N_{ic} e de arrefecimento N_{vc} , não serão quantificadas as necessidades de energia primária N_{tc} . Após estes cálculos, serão relacionados os valores obtidos com os valores máximos de necessidades energéticas, respetivamente, para aquecimento N_i e para arrefecimento N_v .

Na representação das tabelas de resultados, as células a verde representam os valores mais favoráveis e a cinzento os valores menos favoráveis.

3.5.1 Orientação

Para analisar a influência da orientação no desempenho térmico dos edifícios de habitação, foram determinadas as necessidades energéticas do edifício em estudo para as várias possíveis orientações dos vãos envidraçados. Esta primeira análise foi efetuada para o município do Porto com vãos constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico e vidro T1. Os resultados encontram-se na tabela 3.30.

Tabela 3.30 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento em função da orientação.

Zona Climática: I1 - V2						
NUTS III: Grande Porto						
Município: Porto						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Sistema em alumínio sem corte térmico e vidro T1						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Orientação	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
N	37,47	57,89	65%	15,51	9,13	170%

S	24,92	57,89	43%	12,75	9,13	140%
O/E	35,12	57,89	61%	18,83	9,13	206%
NO/NE	37,47	57,89	65%	18,15	9,13	199%
SO/SE	28,41	57,89	49%	13,87	9,13	152%

A partir da tabela podemos verificar que na estação de aquecimento em todas as orientações é cumprida a exigência $N_{ic} \leq N_i$, já na estação de arrefecimento, em nenhum caso é satisfeita a exigência $N_{vc} \leq N_v$. Desta forma podemos concluir que a grande dimensão dos vãos envidraçados e o elevado fator solar do vidro T1 são os principais motivos desta não conformidade, permitindo elevados ganhos solares que apesar de benéficos na estação de aquecimento tornam-se uma ameaça no verão quando os envidraçados não são devidamente protegidos. De salientar que a constituição dos vãos envidraçados não verifica os requisitos mínimos do coeficiente de transmissão térmica $U_{máx}$ para a zona climática I1, referente à localização Porto.

De acordo com os resultados podemos afirmar que a orientação tem influência nos ganhos solares de inverno e de verão e a orientação a sul é a mais vantajosa energeticamente, pois apresenta, neste caso específico, menores necessidades de aquecimento e arrefecimento em relação às restantes orientações. No entanto, a orientação norte também apresenta um valor baixo de necessidades para arrefecimento (figura 3.18), valor este que se entende que deveria ser significativamente mais baixo face aos valores apresentados para as orientações sul, sudeste e sudoeste, visto ser uma orientação com menor incidência de energia solar. Tal facto resulta da metodologia de cálculo dos ganhos solares pelos envidraçados, nesta estação, considerar que para a orientação norte, a fração de tempo em que os dispositivos de proteção se encontram ativados é nula, aumentando assim os ganhos solares pelos envidraçados. Desta forma, as orientações menos vantajosas são oeste/este, noroeste/nordeste e norte.

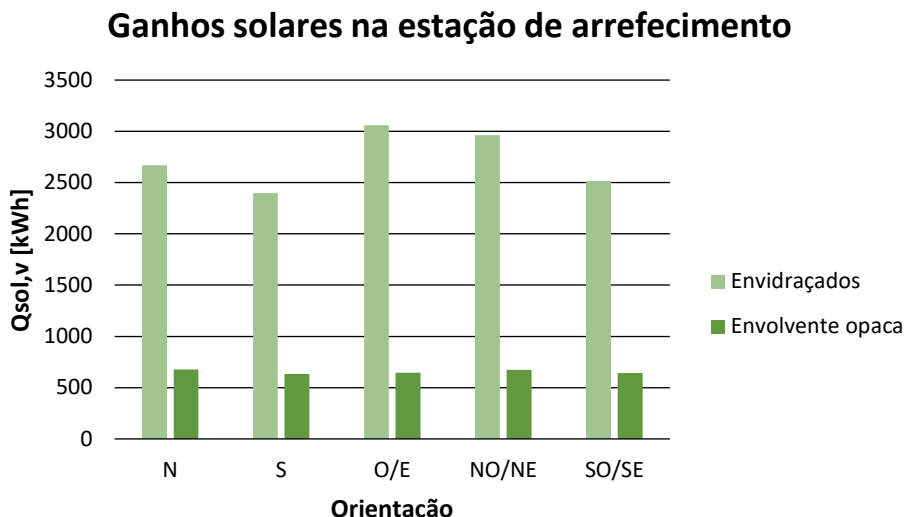


Figura 3.18 – Ganhos solares na estação de arrefecimento em função da orientação.

Sendo a orientação sul a mais eficiente, as próximas simulações apresentadas, relativas ao desempenho térmico global do edifício, serão efetuadas com os vão envidraçados orientados a sul.

3.5.2 Localização

A localização da habitação é dos fatores mais influentes no desempenho térmico de uma habitação, interferindo na transferência de calor por transmissão, transferência de calor por ventilação e ganhos solares. Assim, depende da localização o valor das necessidades de energia para manter o interior do edifício confortável, nas duas estações.

Esta análise vai ser efetuada tendo em conta a orientação a sul dos envidraçados e com o mesmo sistema de alumínio sem corte térmico e vidro T1 abordado na análise anterior que não cumpre os requisitos mínimos de $U_{m\acute{a}x}$ em todas as zonas climáticas. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 3.31.

Tabela 3.31 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento em função da localização.

Orientação: Sul							
Meio: Urbano							
Vão envidraçado: Sistema em alumínio sem corte térmico e vidro T1							
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas							
Município	Zona climática	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
		N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
Porto	I1-V2	24,92	57,89	43%	12,75	9,13	140%

Évora	I1-V3	21,97	54,31	40%	39,12	31,04	126%
Porto de Mós	I2-V1	24,05	59,00	41%	8,79	6,85	128%
Braga	I2-V2	31,32	65,03	48%	11,66	8,26	141%
Covilhã	I2-V3	36,30	75,16	48%	21,67	13,94	155%
Montalegre	I3-V1	71,15	105,24	68%	8,12	5,80	140%
Seia	I3-V2	35,17	73,90	48%	13,90	9,54	146%
M. de Cavaleiros	I3-V3	40,40	75,99	53%	22,13	13,88	159%

De acordo com os resultados obtidos, podemos afirmar que na estação de aquecimento em todos os municípios é verificada a condição $N_{ic} \leq N_i$, já na estação de aquecimento nenhum local verifica a condição $N_{vc} \leq N_v$, tal facto decorre da grande dimensão dos vãos envidraçados e do elevado fator solar do vidro permitirem elevados ganhos solares, o que provoca mais necessidades de energia para arrefecer do que as necessárias para a fração de referência.

Como se considerou o mesmo tipo de caixilharia e vidro para todos as localizações, verificam-se maiores necessidades de energia de aquecimento para as localizações com zona climática de inverno I3 e menores para os municípios de zona climática de inverno I1. Na estação de arrefecimento verifica-se maiores necessidades de energia de arrefecimento para as localizações com zona climática de verão V3 e menores para as localizações com zona climática I1.

O município de Évora apresenta o menor valor de necessidades para aquecimento, já Montalegre requer mais energia para manter o edifício quente (figura 3.19), situação esta que se inverte na estação de arrefecimento (figura 3.20). Esta diferença deve-se ao zonamento climático em que estes municípios se inserem (I1-V3 e I3-V1 respetivamente), Évora apresenta um número de Graus-Dias inferior a Montalegre e Montalegre apresenta uma temperatura média exterior de verão inferior a Évora.

Com as condições construtivas impostas nesta análise, as localizações que apresentam melhores rácios de necessidades de energia são:

- na estação de aquecimento destaca-se Évora com 40% de rácio e menor valor de indicador N_{ic} ;
- na estação de arrefecimento, Évora com 126%, no entanto é Montalegre que apresenta o indicador N_{vc} mais baixo.

Relativamente aos piores comportamentos energéticos:

- na estação de aquecimento é Montalegre que apresenta o maior rácio de N_{ic}/N_i , 68% e é também a localização com maior valor de N_{ic} ;

- na estação de arrefecimento, destaca-se Macedo de Cavaleiros com um rácio de N_{vc}/N_v de 159%, no entanto é Évora que apresenta o maior valor de N_{vc} .

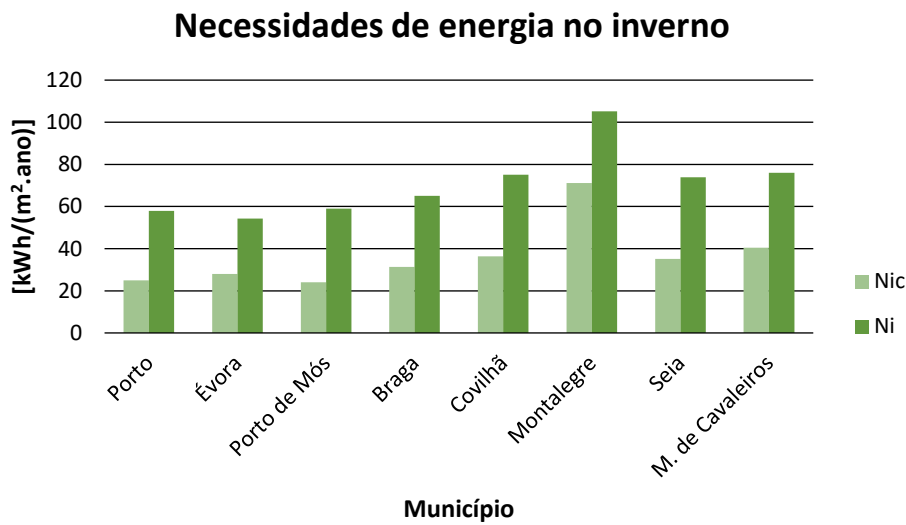


Figura 3.19 – Necessidades de energia na estação de aquecimento em função da localização.

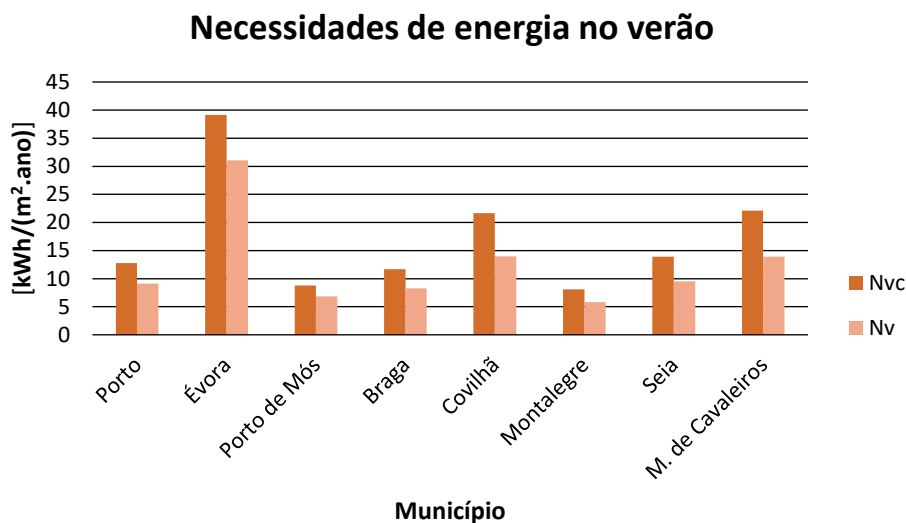


Figura 3.20 – Necessidades de energia na estação de arrefecimento em função da localização.

Sendo Évora e Montalegre as cidades que apresentam valores mais extremos ao nível das necessidades energéticas de climatização, será com estas duas localizações que será analisado a influencia do tipo de caixilharia e vidro no desempenho energéticos do edifício.

3.5.3 Caixilharia

Nesta análise os cálculos foram efetuados, para as duas localizações escolhidas no ponto anterior, com os cinco tipos de caixilhariias em estudo apresentadas no ponto 3.4.1, com o tipo de vidro T1. Apesar de

algumas das constituições não verificarem os requisitos mínimos regulamentares de $U_{m\acute{a}x}$, decidiu-se analisar a influência deste componente com um tipo de vidro de qualidade fraca de maneira a clarificar os resultados. A tabela 3.32 e 3.33 apresentam os resultados obtidos no para o município de Évora e Montalegre respetivamente.

Tabela 3.32 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função da caixilharia.

Zona Climática: I1 - V3						
NUTS III: Alentejo Central						
Município: Évora						
Orientação: Sul						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Vidro T1						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Caixilharia	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
Alumínio sem corte térmico	21,97	54,31	40%	39,12	31,04	126%
Alumínio com corte térmico	18,16	54,31	33%	39,52	31,04	127%
PVC	16,90	54,31	31%	39,82	31,04	128%
Fibra de vidro	17,24	54,31	32%	40,05	31,04	129%
Madeira	18,47	54,31	34%	39,26	31,04	126%

Tabela 3.33 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função da caixilharia.

Zona Climática: I3 - V1						
NUTS III: Alto Trás-os-Montes						
Município: Montalegre						
Orientação: Sul						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Vidro T1						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Caixilharia	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v

Alumínio sem corte térmico	71,15	105,24	68%	8,12	5,80	140%
Alumínio com corte térmico	60,96	105,24	58%	9,41	5,80	162%
PVC	57,64	105,24	55%	9,95	5,80	172%
Fibra de vidro	58,85	105,24	56%	9,77	5,80	168%
Madeira	61,58	105,24	59%	9,22	5,80	159%

De acordo com os resultados obtidos, também aqui é verificada a condição $N_{ic} \leq N_i$ e não verificada a condição $N_{vc} \leq N_v$.

Nesta análise o principal efeito das caixilharias será na transferência de calor por transmissão. Como a caixilharia de PVC apresenta o mais baixo coeficiente de transmissão térmica U_f , pelo que é com esta caixilharia que o edifício apresenta menores necessidades de energia na estação de aquecimento, no entanto na estação de arrefecimento necessita de mais energia para manter o edifício climatizado, pois apresenta menos perdas térmicas. Além do U_f a fração envidraçada f_g , tem influência nos ganhos solares, neste caso como as frações envidraçadas de cada tipo de caixilharia são muito semelhantes, não há uma grande influência nos resultados.

Na estação de arrefecimento, o edifício apresenta menores necessidades de energia com a caixilharia de alumínio sem corte térmico, pois esta permite mais trocas de calor por transmissão em relação às outras caixilharias.

A figura 3.21 apresenta a relação entre as necessidades de energia no município de Montalegre para cada tipo de caixilharia e o U_f .

Necessidades de energia

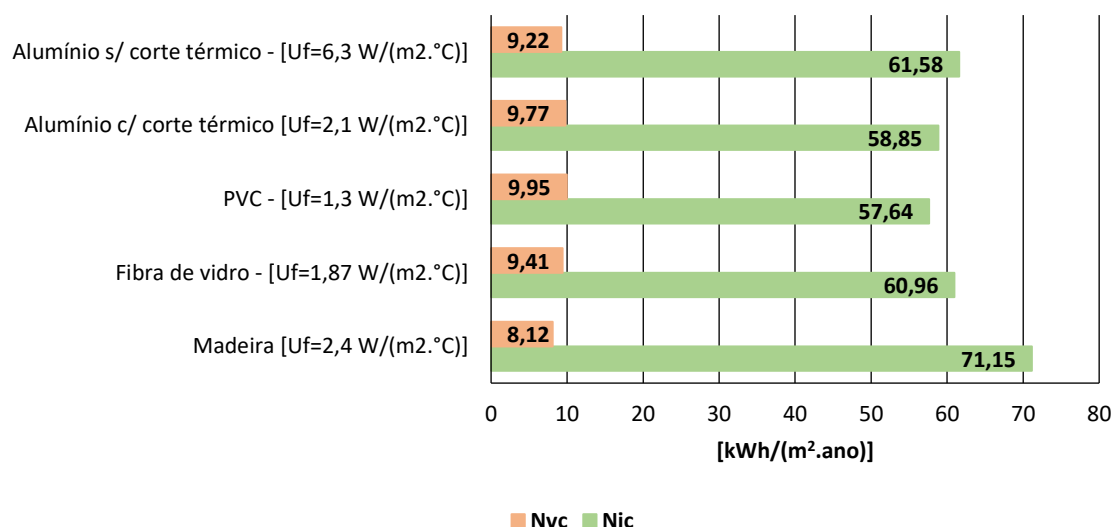


Figura 3.21 – Necessidades de energia no município de Montalegre em função da caixilharia.

De acordo com gráfico, quanto menor for U_f menor serão as necessidades de aquecimento e maiores as necessidades de arrefecimento. No entanto esta variação é mais acentuada na estação de aquecimento. Neste caso em concreto, a substituição da caixilharia de alumínio sem corte térmico pela caixilharia de PVC com o mesmo tipo de vidro T1, resulta numa diminuição de 13,51 kWh/(m².ano) das necessidades de energia para aquecimento e um aumento de 1,83 kWh/(m².ano) das necessidades de energia para arrefecimento, já as caixilharias de alumínio com corte térmico, fibra de vidro e madeira permitem uma diminuição das necessidade de energia na estação de aquecimento de respetivamente, 10,19 kWh/(m².ano), 12,30 kWh/(m².ano) e 9,57 kWh/(m².ano) na estação de arrefecimento cedem um aumento das necessidades de energia de 1,29 kWh/(m².ano), 1,65 kWh/(m².ano) e 1,10 kWh/(m².ano).

Como a caixilharia de PVC apresenta melhores resultados energéticos, principalmente na estação de aquecimento, face às restantes caixilharias, esta será utilizada na análise da influência do tipo de vidro no desempenho energético do edifício.

3.5.4 Vidro

Para a análise da influência dos vidros, no desempenho térmico do edifício, foram determinadas as necessidades de energia para os municípios de Évora e Montalegre tendo em conta a caixilharia de PVC, tabela 3.34 e 3.35. Salienta-se que o tipo de vidro T1 na caixilharia de PVC, apenas verifica os requisitos mínimos regulamentares de $U_{máx}$ para as zonas climáticas I1 e I2, sendo que para I3 ainda não é verificada esta exigência.

Tabela 3.34 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função do tipo de vidro.

Zona Climática: I1 - V3						
NUTS III: Alentejo Central						
Município: Évora						
Orientação: Sul						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Caixilharia de PVC						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Vidro	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
T1	16,90	54,31	31%	39,82	31,04	128%
T2	15,05	54,31	28%	36,93	31,04	119%
T3	30,80	54,31	57%	27,49	31,04	89%
T4	16,62	54,31	31%	34,34	31,04	111%

Tabela 3.35 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função do tipo de vidro.

Zona Climática: I3 - V1						
NUTS III: Alto Trás-os-Montes						
Município: Montalegre						
Orientação: Sul						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Caixilharia de PVC						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Vidro	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
T1	57,64	105,24	55%	9,95	5,80	172%
T2	48,64	105,24	46%	10,07	5,80	174%
T3	72,01	105,24	68%	4,35	5,80	75%
T4	49,53	105,24	47%	8,94	5,80	154%

Assim como nas análises anteriores é verificada a exigência $N_{ic} \leq N_i$ na estação de aquecimento, já na estação de arrefecimento é apenas verificada a exigência $N_{vc} \leq N_v$ com o vidro T3, pois este apresenta um reduzido fator solar $g_{L,vi}$ em relação as outras composições, o que resulta na diminuição dos ganhos solares. Embora este pequeno $g_{L,vi}$ afete negativamente as necessidades de aquecimento, este reduziu as necessidades de arrefecimento de modo a verificar a condição regulamentar de verão.

A figura 3.22 apresenta a relação entre o $g_{L,vi}$ e os ganhos solares de verão pelos envidraçados para os dois municípios.

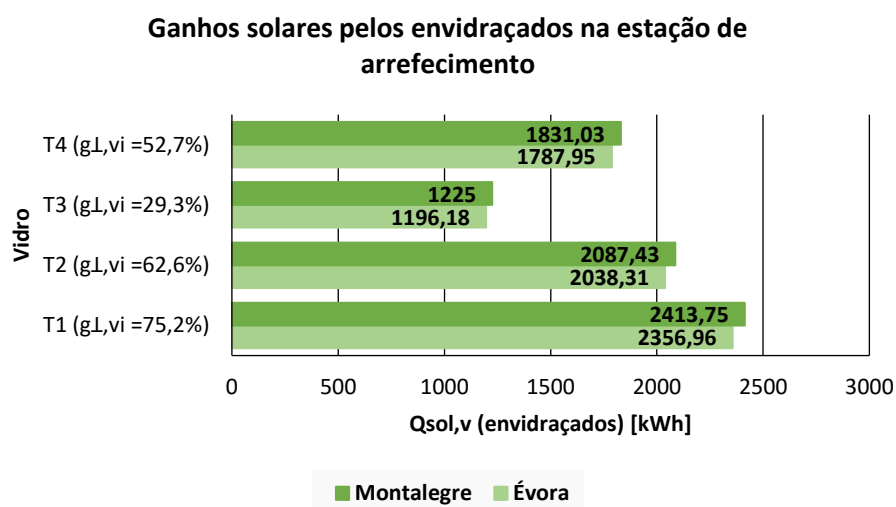


Figura 3.22 – Ganhos solares pelos envidraçados na estação de arrefecimento para Évora e Montalegre.

Além da influência do $g_{L,vi}$, também o coeficiente de transmissão térmica do vidro U_g tem influência na transferência de calor por transmissão, quanto menor for o U_g menores serão as perdas térmicas do edifício pelos envidraçados, fator favorável no inverno e desfavorável no verão. A figura 3.23 apresenta a relação do U_g de cada tipo de vidro e a quantidade de transferência de calor por transmissão através da envolvente na época de aquecimento para os dois municípios.

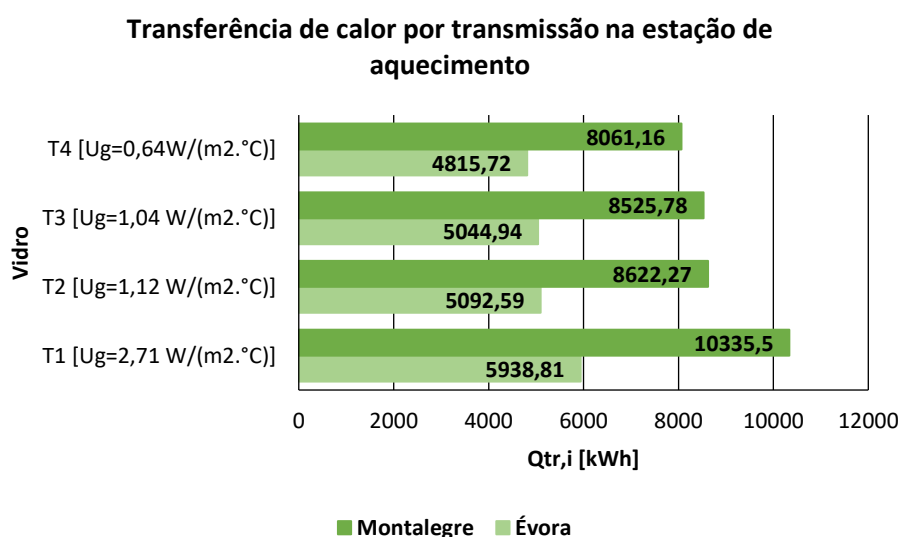


Figura 3.23 – Transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior na estação de aquecimento para o Município de Évora e Montalegre.

A inexistência de sombreamento na fachada e a grande dimensão dos vãos envidraçados potencia os ganhos solares pelos envidraçados em tal grau que na estação de aquecimento as necessidades nominais de energia conseguem ser inferior a 75% dos valores máximos, exigência a satisfazer para os edifícios de necessidades nulas de energia (NZEB). No entanto na estação de arrefecimento o cenário muda completamente, os ganhos solares que são benéficos no inverno aumentam a necessidade de energia para arrefecimento no verão, devido ao sobreaquecimento dos espaços interiores, que resulta na maioria dos casos, exceto com a composição de vidro T3, na não conformidade da exigência regulamentar $N_{vc} \leq N_v$.

A tabela 3.36 e 3.37 apresenta as necessidades nominais de energia útil para os vários tipos de caixilharia com o tipo de vidro T3 no município de Évora e Montalegre respetivamente. Destaco que a caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro T3 não verifica os requisitos mínimos de $U_{máx}$ para o vão V2 nas zonas climáticas I2 e I3.

Tabela 3.36 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Évora em função do tipo de caixilharia com vidro T3.

Zona Climática: I1 - V3 NUTS III: Alentejo Central Município: Évora Orientação: Sul Meio: Urbano Vão envidraçado: Vidro T3 Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Caixilharia	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	N_v [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
Sistema Alumínio s/ corte térmico	38,44	54,31	71%	26,82	31,04	86%
Sistema Alumínio s/ corte térmico	32,85	54,31	60%	27,25	31,04	88%
PVC	30,80	54,31	57%	27,49	31,04	89%
Fibra de vidro	31,47	54,31	58%	27,58	31,04	89%
Madeira	33,02	54,31	61%	27,12	31,04	87%

Tabela 3.37 – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, para o caso de Montalegre em função do tipo de caixilharia com vidro T3.

Zona Climática: I3 - V1						
NUTS III: Alto Trás-os-Montes						
Município: Montalegre						
Orientação: Sul						
Meio: Urbano						
Vão envidraçado: Vidro T3						
Dispositivo de proteção: Estore veneziano de lâminas metálicas						
Caixilharia	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{ic}/N_i	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	N_i [kWh/(m ² .ano)]	N_{vc}/N_v
Sistema Alumínio s/ corte térmico	88,11	105,24	84%	3,18	5,80	55%
Sistema Alumínio s/ corte térmico	76,27	105,24	72%	3,98	5,80	69%
PVC	72,01	105,24	68%	4,35	5,80	75%
Fibra de vidro	73,60	105,24	70%	4,23	5,80	73%
Madeira	76,47	105,24	73%	3,92	5,80	68%

Com a composição de vidro T3, as exigências regulamentares $N_{ic} \leq N_i$ e $N_{vc} \leq N_v$ são verificadas em todas as caixilharias. Salienta-se mais uma vez que o sistema de alumínio sem corte térmico, com este tipo de vidro, não verifica os requisitos mínimos regulamentares no vão V2 nas zonas climáticas I2 e I3, ainda assim com esta constituição são verificadas as exigências regulamentares das necessidades de energia nas duas estações.

Em ambos os municípios na estação de aquecimento, a constituição de caixilharia PVC com vidro T3 é a que apresenta menores necessidades de aquecimento, em oposição a caixilharia de alumínio sem corte térmico apresenta maiores necessidades em relação às restantes tipologias. Na estação de arrefecimento a caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro T3 apresenta menores necessidades de energia para ambos os municípios, contrariamente, para Évora, é a caixilharia de Fibra de vidro com vidro T3 que apresenta maiores necessidades de energia, já para Montalegre é a caixilharia de PVC com vidro T3.

Como esta análise apenas se reflete na variação do tipo de caixilharia com vidro T3 e conforme analisado anteriormente, apenas o coeficiente de transmissão térmica U_w e a fração envidraçada f_g de cada tipologia de caixilho têm influência nos resultados, nomeadamente na transferência de calor por transmissão e nos ganhos solares de inverno e de verão.

Uma das possíveis soluções com o efeito semelhante do vidro T3 no desempenho energético do edifício, seria a implementação de elementos de sombreamento fixo, como por exemplo as palas horizontais, que da mesma forma que o vidro de controlo solar, diminuem os ganhos solares de inverno e verão. Esta solução apesar influenciar o desempenho térmico do edifício de forma semelhante ao vidro T3, é em princípio uma solução mais onerosa o que acabava por não justificar o investimento.

3.5.5 Sombreamento móvel

O sombreamento móvel permite controlar a incidência da radiação solar nos vãos envidraçados. Pode ser desativado para permitir os ganhos solares na estação de aquecimento e ativado para diminuí-los no verão, permitindo a penetração da iluminação natural.

Com a implementação deste elemento de sombreamento no edifício em estudo é possível diminuir os ganhos solares na estação de arrefecimento sem afetar os ganhos solares de inverno, e desta forma melhorar o desempenho térmico do edifício em estudo em relação às soluções anteriormente consideradas com o vidro T3 de controlo solar. Para analisar a sua influência na estação de arrefecimento foi considerado dois toldos de braços articulados manuais, um com 6 m de desenvolvimento afeto ao vão V1 e um outro com 5,50 m de desenvolvimento protegendo os vãos V2 e V3 ambos com 2 m de comprimento. A figura 3.24 apresenta o ângulo de obstrução entre o centro do vão envidraçado e a extremidade do toldo.

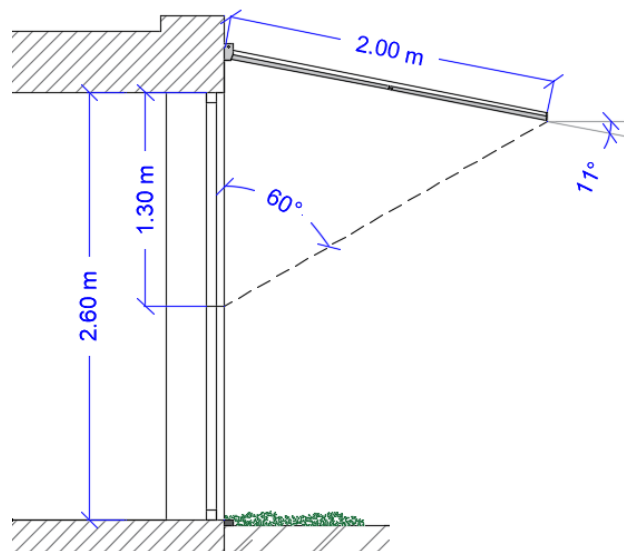


Figura 3.24 – Ângulo de obstrução do toldo.

A tabela 3.38 apresenta os fatores de sombreamento horizontais e verticais na estação de arrefecimento com o toldo totalmente ativado.

Tabela 3.38 – Fator de sombreamento para a orientação sul.

Orientação	Sombreament o horizonte	Sombreamento por elementos horizontais		Sombreamento por elementos verticais					$F_o \cdot F_f$ $\leq 0,9$	F_s
	F_h	Ângulo α	F_o	Ângulo β		F_f esquerda	F_f direita	F_f		
				Esquerda	Direita					
S	1	60°	0,52	4°	4°	0,99	0,99	0,98	0,51	0,51

As figuras 3.25, 3.26, 3.27 e 3.28 apresentam respetivamente as necessidades de energia de aquecimento e arrefecimento para o município de Évora e Montalegre tendo em conta o elemento de sombreamento móvel, os estores venezianos de lâminas metálicas com os vãos envidraçados orientados a sul, em função do tipo de caixilharias e tipo de vidro. Realça-se que as caixilharias com o vidro T1 não verificam os requisitos mínimos regulamentares de $U_{m\acute{a}x}$ para as três zonas climáticas, no caso de Évora, zona climática de inverno I1, verificam-se todas as caixilharias com vidro T1 exceto a caixilharia de alumínio sem corte térmico. Já para o Município de Montalegre que se insere na zona climática I3, nenhuma das caixilharias com vidro T1 e a caixilharia de alumínio sem corte térmico com os vidros T2 e T3 verificam os requisitos mínimos.

As caixilharias de alumínio s/ corte térmico e de fibra de vidro não apresentam resultado para a tipologia de vidro T4, pois estas não têm capacidade de guarnição deste tipo de vidro devido à sua elevada espessura.

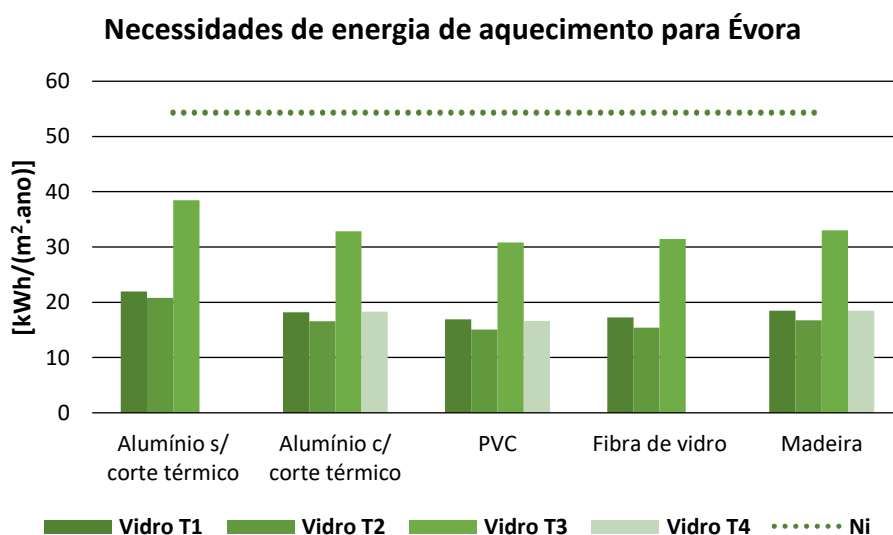


Figura 3.25 – Necessidades de energia de aquecimento para o município de Évora.

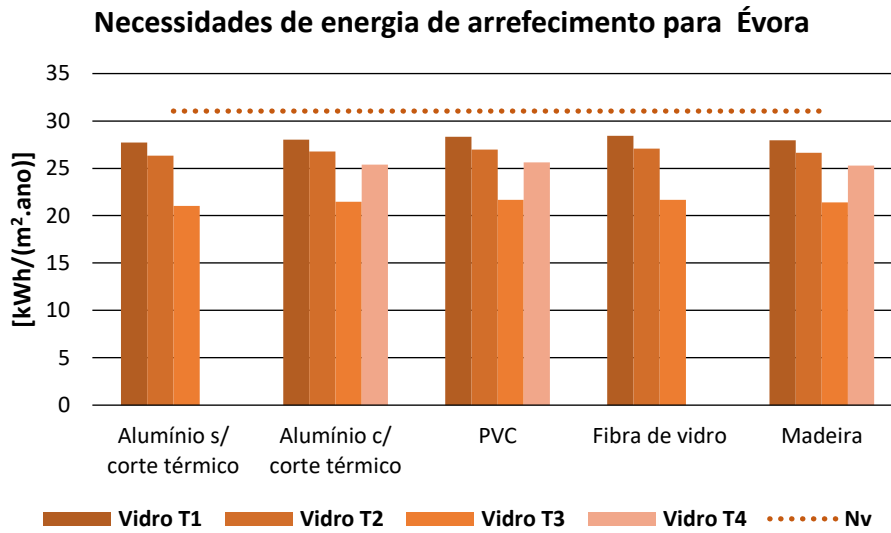


Figura 3.26 – Necessidades de energia de arrefecimento para o município de Évora.

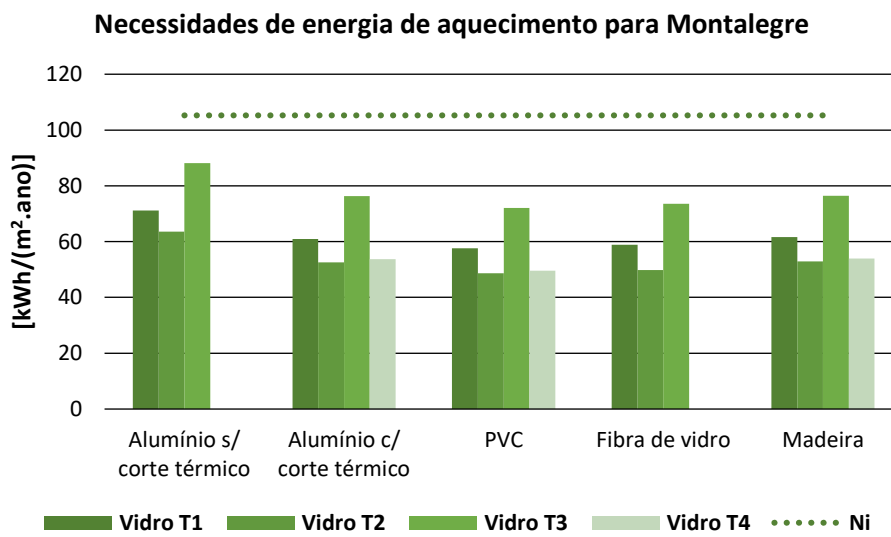


Figura 3.27 – Necessidades de energia de aquecimento para o município de Montalegre.

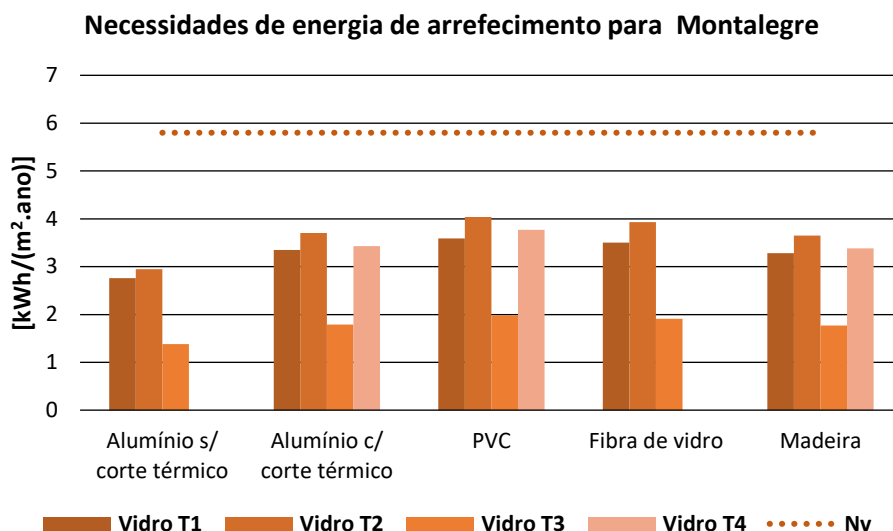


Figura 3.28 – Necessidades de energia de arrefecimento para o município de Montalegre.

Com a implementação dos toldos ativados na estação de arrefecimento, todas as constituições de vão envidraçado (caixilharia + vidro) respeitam as exigências regulamentares de $N_{ic} \leq N_i$ e $N_{vc} \leq N_v$, inclusive a exigência referentes aos edifícios NZEB, ou seja $N_{ic} \leq 0,75 \cdot N_i$.

No que diz respeito às necessidades de energia de aquecimento para os dois municípios, as caixilharias com vidro T3 apresentam os valores mais altos devido ao baixo fator solar $g_{L,vi}$, pelo contrário, relativamente às necessidades de energia para arrefecimento estas apresentam valores mais baixos face às restantes constituições. No entanto a influência do $g_{L,vi}$ do vidro têm maior impacto nas necessidades de energia de aquecimento, condicionando os ganhos solares. Pois após a implementação dos toldos a influência do $g_{L,vi}$ torna-se menor na estação de arrefecimento e desta forma a utilização do vidro T3 releva-se menos viável em relação aos restantes tipos de vidro.

As caixilharias com o vidro T2 apresentam menores valores de necessidades de energia para aquecimento em relação aos outros tipos de vidro, pois este apresenta uma boa relação com o isolamento térmico e a percentagem de ganhos solares. Relativamente ao vidro T4, este apresenta um $g_{L,vi}$ e um U_g inferior ao vidro T2, que resulta em menores ganhos solares e menores perdas térmicas pelos envidraçados. Já o vidro T1 apesar de permitir maiores ganhos solares em relação aos outros vidros devido ao elevado $g_{L,vi}$, este apresenta o menor U_g dos vidros em estudo o que permite maiores perdas térmicas.

Relativamente à influência do tipo de caixilharia, para os dois municípios estas apresentam pequenas variações, no entanto a caixilharia de PVC com vidro T2 apresenta o menor valor de necessidades de energia de aquecimento e a caixilharia alumínio sem corte térmico com vidro T3 apresenta o menor valor de necessidades de energia para arrefecimento.

Em suma, o vidro T2 e eventualmente o vidro T4, pela proximidade de resultados, são os que apresentam de forma global, menores necessidades energéticas.

No que diz respeito às caixilharias, exceto a de alumínio sem corte térmico, estas apresentam resultados muito próximos, o que leva a ter em conta o custo de investimento das mesmas para determinar qual a melhor opção a implementar no edifício em estudo, pois como podemos verificar pelos resultados, o tipo de vidro tem maior influência nas necessidades energéticas devido à grande dimensão dos vãos.

3.5.6 Resumo

Após a análise dos fatores associados à influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios, percebemos estes tem interferência em vários parâmetros associados às metodologias de cálculo das necessidades energéticas das habitações. A tabela 3.39 apresenta em resumo, os vários fatores analisados e respetivos parâmetros associados que induzem influência no desempenho térmico dos edifícios.

Tabela 3.39 – Influência dos fatores analisados.

Fator		Parâmetros	Influência
Orientação	Estação de aquecimento	$X_j; F_h; F_o; F_f$	– Ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$I_{sol,j}; F_{w,v}; F_{m,v}; F_o; F_f$	– Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]
Localização	Estação de aquecimento	$M; GD; G_{sul}; F_h$	– Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,i}$ [kWh] – Transferência de calor por ventilação - $Q_{ve,i}$ [kWh] – Ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$\theta_{ext,v}; I_{sol}$	– Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,v}$ [kWh] – Transferência de calor por ventilação - $Q_{ve,v}$ [kWh] – Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]

Caixilharia	Estação de aquecimento	$U_{wdn} ; f_g$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,i}$ [kWh] – Ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$U_{wdn} ; f_g$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,v}$ [kWh] – Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]
Vidro	Estação de aquecimento	$U_{wdn} ; g_{L,vi} ;$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,i}$ [kWh] – Ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$U_{wdn} ; g_{L,vi} ; F_{w,v}$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,v}$ [kWh] – Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]
Dispositivo de proteção solar	Estação de aquecimento	$U_{wdn} ;$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$U_{wdn} ; g_{Tvc}$	<ul style="list-style-type: none"> – Transferência de calor por transmissão - $Q_{tr,v}$ [kWh] – Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]
Elementos de sombreamento (horizontal ou vertical)	Estação de aquecimento	$F_o ; F_f$	<ul style="list-style-type: none"> – Ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$ [kWh]
	Estação de arrefecimento	$F_o ; F_f$	<ul style="list-style-type: none"> – Ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$ [kWh]

De acordo com a tabela, todos os fatores têm impacto nos ganhos térmicos $Q_{gu,i}$ e $Q_{g,v}$, já na transferência de calor por transmissão $Q_{tr,i}$ e $Q_{tr,v}$ tem influência a localização, a caixilharia, o vidro e os dispositivos de proteção solar, relativamente à transferência de calor por ventilação $Q_{ve,i}$ e $Q_{ve,v}$, esta é condicionada pelo fator de localização e possivelmente, embora com menos impacto, a classe de permeabilidade da caixilharia, afetando a taxa de renovação de ar R_{ph} e consequente $Q_{ve,i}$ e $Q_{ve,v}$.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ECONÓMICA

Neste capítulo será realizada uma análise económica relativa às várias soluções determinadas em conformidade com as exigências regulamentares referentes às necessidades energéticas de arrefecimento e aquecimento e aos requisitos mínimos das soluções construtivas, com o objetivo de determinar a solução mais económica relacionando o custo de investimento e período de retorno para o caso em estudo, tendo por base de comparação uma solução de fraca qualidade.

Para determinar os custos energéticos relativos à climatização, considerou-se a eletricidade como fonte de energia para aquecimento e arrefecimento. O custo de energia elétrica foi determinado a partir da consulta de algumas faturas atuais de eletricidade e as tarifas simples de baixa tensão normal até 20,7 kVa, disponibilizadas no site da EDP serviço universal, considerando-se um custo médio de 0.155 €/kWh.

As soluções a considerar no estudo económico, têm por base os municípios de Évora e Montalegre, orientação dos vãos envidraçados a sul e estores venezianos de lâminas metálicas como dispositivo de proteção solar. Estas soluções serão comparadas com uma solução base constituída pelos envidraçados de pior desempenho térmico.

Iram ser descritas de seguida as soluções a considerar na análise económica para os dois municípios.

Município de Évora:

- Todas as caixilharias + vidro T3;
- Todas as caixilharias + vidro T2 + elementos móveis de sombreamento (toldos de braços articulados manuais);
- Caixilharia de alumínio com corte térmico, PVC e madeira + vidro T4 + elementos móveis de sombreamento (toldos de braços articulados manuais).

Município de Montalegre:

- Todas as caixilharias exceto a de alumínio sem corte térmico + vidro T3;
- Todas as caixilharias exceto a de alumínio sem corte térmico + vidro T2 + elementos móveis de sombreamento (toldos de braços articulados manuais);

- Caixilharia de alumínio com corte térmico, PVC e madeira + vidro T4 + elementos móveis de sombreamento (toldos de braços articulados manuais).

As tabelas 4.1 e 4.2 apresenta respetivamente o custo de investimento das caixilharias e dos vidros considerados no estudo. Já o custo de investimento dos toldos de braços articulados manuais é de 1392,70 €. Na representação das tabelas, as células a verde representam os valores mais favoráveis e a cinzento os valores menos favoráveis.

Tabela 4.1 – Custo de investimento das caixilharias, [€].

Caixilharia	Custo de Investimento
Alumínio sem corte térmico	1 768,46 €
Alumínio Com corte térmico	2 888,41 €
PVC	2 683,00 €
Fibra de vidro	5 502,60 €
Madeira	6 380,49 €

Tabela 4.2 – Custo de investimento dos vidros, [€].

Vidro	Custo de Investimento
T1	621,53 €
T2	1 250,20 €
T3	2 024,14 €
T4	1 797,91 €

Numa primeira fase será feita uma análise relativamente ao melhor tipo de vidro a utilizar na constituição dos vãos com a solução dos toldos, vidro T2 ou T4, já que estas duas soluções apresentaram valores de necessidades energéticas muito próximos conforme verificado no subcapítulo 3.5.5.

A tabela 4.3 apresenta os consumos anuais de energia das duas soluções para os municípios de Évora e Montalegre e a tabela 4.4 apresenta a despesa anual do consumo de energia para climatização.

Tabela 4.3 – Consumos anuais de energia para Évora e Montalegre, [kWh/(m².ano)].

Solução	Évora		Montalegre	
	Aquecimento	Arrefecimento	Aquecimento	Arrefecimento
Caixilharia de PVC + vidro T2 + Toldo	15,05	26,99	48,64	4,04

Caixilharia de PVC + vidro T4 + Toldo	16,62	25,62	49,53	3,77
---------------------------------------	-------	-------	-------	------

Tabela 4.4 – Despesa anual do consumo de energia para climatização para Évora e Montalegre, [€].

Solução	Évora		Custo Global	Montalegre		Custo Global
	Aquecimento	Arrefecimento		Aquecimento	Arrefecimento	
Caixilharia de PVC + vidro T2 + Toldo	207,36 €	371,87 €	579,23 €	670,16 €	55,66 €	725,82 €
Caixilharia de PVC + vidro T4 + Toldo	228,99 €	352,99 €	581,98 €	682,42 €	51,94 €	734,36 €

De acordo com os resultados da tabela das despesas anuais, a solução caixilharia de PVC + vidro T2 + toldo apresenta o menor custo de energia anual. Como o tipo de vidro T4 é mais oneroso em relação ao vidro T2, a solução com o vidro T4 é menos viável, sendo assim dispensada da restante análise.

Desta forma, iremos determinar entre a solução sem toldos com vidro T3 de controlo solar e a solução com toldos com vidro T2, qual a mais económica, tendo em conta o custo de investimento e o período de retorno face à solução de fraca qualidade. Para esta comparação será utilizado o mesmo sistema de caixilharia para as duas soluções, PVC.

A tabela 4.5 e 4.6 apresentam os consumos e custos anuais de energia para climatização, respetivamente para Évora e Montalegre.

Tabela 4.5 – Consumos e custos anuais de energia para Évora.

	Custo de investimento [€]	Aquecimento		Arrefecimento		Custo total energia [€]	Poupança energética [€]
		N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]		
Solução de fraca qualidade	2 389,99 €	21,97	302,70 €	39,12	538,99 €	841,69 €	- €
PVC + vidro T3	4 707,14 €	30,8	424,36 €	27,49	378,76 €	803,12 €	- 38,58 €
PVC + vidro T2 + Toldo	5 325,90 €	15,05	207,36 €	26,99	371,87 €	579,23 €	- 262,47 €

Tabela 4.6 – Consumos e custos anuais de energia para Montalegre.

	Custo de investimento [€]	Aquecimento		Arrefecimento		Custo total energia [€]	Poupança energética [€]
		N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]		
Solução de fraca qualidade	2 389,99 €	71,15	980,30 €	8,12	111,88 €	1 092,18 €	- €
PVC + vidro T3	4 707,14 €	72,01	992,15 €	4,35	59,93 €	1 052,08 €	- 40,09 €
PVC + vidro T2 + Toldo	5 325,90 €	48,64	670,16 €	4,04	55,66 €	725,82 €	- 366,36 €

Conforme as tabelas, para as duas localizações, a solução caixilharia de PVC + vidro T2 + toldo apresenta menores custos de energia anuais, no entanto apresenta o maior custo de investimento face à solução caixilharia de PVC + vidro T3. De maneira a perceber qual das soluções é mais viável, é necessário analisar o período de retorno tendo em conta o custo investimento e custo de energia de cada solução em relação a solução de fraca qualidade. Os cálculos associados ao período de retorno encontram-se no anexo V.

Relativamente à solução sem toldos com o vidro T3 de controlo solar e tendo em conta uma caixilharia de PVC, o investimento inicial seria de 4707,14 €, apresentado um acréscimo de 2327,14 € face à solução de fraca qualidade. Para o município de Évora, esta solução consegue uma poupança anual de 38,58 € relativamente à solução de fraca qualidade, alcançando o retorno do acréscimo de investimento ao fim de 61 anos, tornando desde já esta solução inviável economicamente, tendo em consideração que em média que as caixilharias apresentam 50 anos de vida útil. Para o município de Montalegre a situação é semelhante, com uma poupança anual de 40,09 € a rentabilidade chegaria ao fim 59 anos. No que diz respeito à solução com toldos de sombreamento e vidro T2 com a mesma caixilharia de PVC, o investimento inicial seria de 5325,90 €, apresentado um acréscimo de 2935,91 € face à solução base de comparação. Com uma poupança anual de 262,47 € para Évora e 366,36 € para Montalegre, o retorno do investimento aconteceria respetivamente em 12 anos e 9 anos.

Desta forma, claramente conclui-se que a solução mais económica passa por implementar nos vãos, o sombreamento móvel e o vidro T2.

Por fim, a juntar ao vidro T2 e aos toldos de sombreamento móvel, resta determinar a caixilharia que melhor desempenho apresentará ao edifício em estudo, através da análise do custo de investimento e período de retorno face à solução de fraca qualidade.

A tabela 4.7 e 4.8 apresentam os consumos e custos anuais de energia para climatização, respetivamente para Évora e Montalegre, relativamente à solução com toldos e vidro T2 em função do tipo de caixilharia.

Tabela 4.7 – Consumos e custos anuais de energia para Évora em função do tipo de caixilharia.

	Aquecimento		Arrefecimento		Custo total energia [€]	Poupança energética [€]
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]		
Solução de fraca qualidade	21,97	302,70 €	39,12	538,99 €	841,69 €	- €
Alumínio s/ corte térmico + vidro T2 + toldos	20,79	286,44 €	26,33	362,77 €	649,22 €	- 192,48 €
Alumínio c/ corte térmico + vidro T2 + toldos	16,55	228,03 €	26,76	368,70 €	596,72 €	- 244,97 €
PVC + vidro T2 + toldos	15,05	207,36 €	26,99	371,87 €	579,23 €	- 262,47 €
Fibra de vidro + vidro T2 + toldos	15,4	212,18 €	27,07	372,97 €	585,15 €	- 256,55 €
Madeira + vidro T2 + toldos	16,74	230,64 €	26,63	366,91 €	597,55 €	- 244,15 €

Tabela 4.8 – Consumos e custos anuais de energia para Montalegre em função do tipo de caixilharia.

	Aquecimento		Arrefecimento		Custo total energia [€]	Poupança energética [€]
	N_{ic} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]	N_{vc} [kWh/(m ² .ano)]	Custo energia [€]		
Solução de fraca qualidade	71,15	980,30 €	8,12	111,88 €	1 092,18 €	- €
Alumínio c/ corte térmico + vidro T2 + toldos	52,55	724,03 €	3,7	50,98 €	775,01 €	- 317,17 €
PVC + vidro T2 + toldos	48,64	670,16 €	4,04	55,66 €	725,82 €	- 366,36 €
Fibra de vidro + vidro T2 + toldos	49,8	686,14 €	3,93	54,15 €	740,29 €	- 351,89 €
Madeira + vidro T2 + toldos	52,87	728,44 €	3,65	50,29 €	778,73 €	- 313,45 €

As tabelas 4.9 apresenta o período de retorno para cada tipo de caixilharia relativamente à solução de qualidade fraca para os municípios de Évora e Montalegre.

Tabela 4.9 – Período de retorno em função da caixilharia para Évora e Montalegre.

	Acréscimo de investimento [€]	Évora	Montalegre
		Período de retorno [anos]	Período de retorno [anos]
Alumínio s/ corte térmico + vidro T2 + toldos	2 021,37 €	11,50	-
Alumínio c/ corte térmico + vidro T2 + toldos	3 141,32 €	13,82	10,90
PVC + vidro T2 + toldos	2 935,91 €	12,19	9,01
Fibra de vidro + vidro T2 + toldos	5 755,51 €	23,43	17,36
Madeira + vidro T2 + toldos	6 633,40 €	28,17	22,16

De acordo com os resultados obtidos, para o município de Évora, a solução com caixilharia de alumínio s/ corte térmico apresenta o menor período de retorno, com cerca de 11 anos e 6 meses. Apesar da solução com caixilharia de alumínio sem corte térmico apresentar maiores consumos energéticos, o seu reduzido custo de investimento contrabalança com os menores consumos das restantes soluções. No entanto as caixilharias de PVC e alumínio com corte térmico apresentam retornos igualmente curtos, ligeiramente superiores em relação à solução de alumínio s/ corte térmico. Esta proximidade deve-se à conjugação de um maior custo de investimento com menores custos de energia, além disso como apresentam menores custos de energia, a longo prazo estas soluções proporcionam maiores poupanças energéticas. A solução que apresenta maior período de retorno é a de madeira, que apesar de apresentar custos de energia próximos das restantes soluções, é uma opção onerosa na fase de investimento, o que faz retardar o seu retorno. Já a solução de fibra de vidro apresenta também um retorno elevado no entanto inferior à solução de madeira.

Para o Município de Montalegre, os resultados são muito idênticos, as soluções de PVC e alumínio c/ corte térmico apresentam menores prazos de retorno e a solução de madeira o maior período. No entanto, há uma maior proximidade entre as soluções mais viáveis e as menos viáveis, pois apresenta maiores poupanças de energia anuais face ao município de Évora para as mesmas condições.

Em suma, as soluções mais viáveis para os dois municípios relativamente ao caso de estudo, com orientação dos vãos envidraçados a sul e estores venezianos de lâminas metálicos como proteção solar, são para Évora:

- Caixilharia de alumínio sem corte térmico com vidro T2 (6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2) e toldos de sombreamento ativos no verão;
- Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro T2 (6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2) e toldos de sombreamento ativos no verão;
- Caixilharia de PVC com vidro T2 (6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2) e toldos de sombreamento ativos no verão.

Para Montalegre:

- Caixilharia de alumínio com corte térmico com vidro T2 (6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2) e toldos de sombreamento ativos no verão;
- Caixilharia de PVC com vidro T2 (6 mm ExtraClear + Cx. 16 Árgon + 6 mm ClimaGuard Premium 2) e toldos de sombreamento ativos no verão.

Como os vãos envidraçados do edifício em estudo apresentam grandes dimensões, eventualmente as soluções de alumínio seriam as mais indicadas devido à sua maior resistência mecânica.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Neste capítulo, serão indicadas as conclusões obtidas na elaboração da presente dissertação, onde foi realizado um estudo para analisar a influência dos vãos envidraçados no desempenho térmico de um edifício protótipo de habitação e determinar as soluções mais económicas.

O estudo foi realizado separadamente de forma a perceber o impacto de cada fator no desempenho térmico de edifício protótipo, e permitiu concluir que:

- A localização é o fator mais influente no desempenho de um futuro edifício de habitação, este tem interferência na maioria dos parâmetros relativos às metodologias de cálculo das necessidades energéticas, afetando a transferência de calor por transmissão, transferência de calor por ventilação e os ganhos solares.

A partir da localização podemos perceber de uma forma geral se o edifício será mais dependente da energia para aquecimento e arrefecimento.

- A orientação tem interferência nos ganhos solares do edifício, com principal interferência na intensidade da incidência da radiação solar na envolvente do edifício e no nível de sombreamento do horizonte e por elementos horizontais e verticais. Além disso, na estação de arrefecimento a orientação tem influência na fração de tempo a considerar em que os dispositivos móveis se encontram ativados, $F_{m,v}$ e no fator de seletividade angular dos envidraçados, $F_{m,v}$. Em regra, a orientação sul é a mais eficiente energeticamente em Portugal.
- A caixilharia, como elemento construtivo pertencente à envolvente, desde logo têm influência na transferência e calor por transmissão. Além disso, consoante as dimensões dos perfis de cada tipo, tem ação na fração envidraçada f_g , de cada vão, o que condiciona a quantidade de ganhos solares pelos mesmos.

As caixilharias de PVC apresentam melhores coeficientes de transmissão térmica U_f e as metálicas sem rotura térmica os valores mais altos. No que diz respeito à resistência, as caixilharias metálicas levam vantagem em relação às restantes.

As caixilharias de alumínio com corte térmico e PVC são as que melhor relação qualidade-preço apresentam no mercado, já as de madeira e fibra de vidro apesar da boa qualidade são mais onerosas.

- No que diz respeito ao vidro, além da influência na transferência e calor por transmissão através do valor de U_g , têm especial importância nos ganhos solares pelos envidraçados. Estes são condicionados pelo fator solar dos vidros $g_{L,vi}$, que serão menores, quanto menor for o $g_{L,vi}$. Também o tipo de vidro, simples ou duplo terá influência no fator de seletividade angular dos envidraçados na estação de arrefecimento $F_{w,v}$.
- Os dispositivos de proteção solar, tem interferência na transferência e calor por transmissão através do valor de U_{wdn} e nos ganhos solares pelos envidraçados na estação de arrefecimento pelo fator solar dos vãos envidraçados com o dispositivo de proteção solar ativado g_{Tvc} .
- Por fim, os elementos de sombreamento, sejam horizontais ou verticais, fixos ou móveis, tem influência no nível de sombreamento e conseqüentemente nos ganhos solares pelos envidraçados.

Relativamente ao edifício protótipo estudado em função dos vários fatores que influenciam o seu desempenho térmico, foi possível concluir que:

- Os vãos envidraçados de grandes dimensões permitem maiores ganhos solares na estação de aquecimento, face a edifícios com dimensões de vãos envidraçados correntes. No entanto, é necessário ter em consideração que as perdas por transmissão também aumentam, em virtude de os coeficientes de transmissão térmica dos vãos envidraçados serem superiores aos da envolvente em zona corrente.
- Em vãos de grande dimensão, o tipo vidro tem mais influência no desempenho térmico dos edifícios relativamente ao tipo de caixilharia.
- A ausência de elementos de sombreamento em vãos de grande dimensão, impossibilita muitas das vezes verificação da exigência regulamentar $N_{vc} \leq N_v$, mesmo em zonas climáticas de verão V1 como Évora.
- O recurso a vidros como o T3 com um baixo fator solar permite controlar os ganhos solares na estação de arrefecimento impedindo o sobreaquecimento dos espaços interiores, no entanto

umenta os consumos de inverno, pois restringe os ganhos solares favoráveis na estação de aquecimento.

- O sombreamento móvel assim como outro elemento de sombreamento permite controlar os ganhos solares. No entanto, os elementos móveis podem ser desativados no inverno de maneira maximizar os ganhos solares e ativados no verão de modo a restringi-los. Com este tipo de sombreamento é mais viável a utilização de vidros sem controlo solar de forma a permitir o máximo de ganhos solares no inverno.

Desta forma, os vãos envidraçados são elementos construtivos de grande importância no desempenho energético dos edifícios de habitação, na otimização do comportamento térmico. Quando bem dimensionados estes permitem reduzir as necessidades energéticas, com principal influência nas perdas térmicas dos edifícios e nos seus ganhos solares. Sendo assim, elementos a ter em consideração na fase de conceção de novos edifícios ou na reabilitação de edifícios existentes, pelo seu impacto na performance energética e no conforto e saúde dos seus ocupantes.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como desenvolvimento futuro do trabalho propõe-se a análise da influência dos vários tipos dispositivos de proteção solar no desempenho térmico dos edifícios de habitação. Estes que têm interferência no isolamento térmico, mas também nos ganhos solares na estação de arrefecimento. Além disso, analisar se a fração de tempo em que estes se encontram ativados estipulada pelo regulamento tem influência positiva ou negativa nas necessidades energéticas para climatização.

Propõe-se ainda a análise dos vários tipos de ligação da caixilharia com a fachada, assim como o seu posicionamento em relação à superfície exterior das paredes pode ter impactos no desempenho térmico dos edifícios.

Sugere-se também um estudo relativo à utilização de janelas duplas, muito empregues na reabilitação de edificações multifamiliares, apresentando melhorias térmicas, mas também acústicas.

Por fim, um estudo de comparação entre o edifício estudado e o mesmo edifício reduzindo as áreas dos vãos envidraçados e, assim, verificar o balanço entre as perdas térmicas e os ganhos solares nas duas situações para as duas estações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DGEG – Energia em Portugal 2016. [Consult. 8 abril. 2019]. Disponível em <http://www.dgeg.gov.pt/>
2. SCE – 10 Soluções de Eficiência Energética #2. [Consult. 11 abril. 2019]. Disponível em <https://www.sce.pt/10-solucoes-de-eficiencia-energetica/>
3. GONÇALVES, Hélder; GRAÇA, João Mariz – Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Lisboa: DGGE, 2004. ISBN 9728268343. [Consult. 11 abril. 2019]. Disponível em <http://repositorio.Ineg.pt/handle/10400.9/1323>
4. ANICOLOR. [Consult. 23 de abril. 2019]. Disponível em <https://www.anicolor.pt/sistemas/>
5. WINBEL. [Consult. 2 maio. 2019]. Disponível em <http://www.winbel.pt/pt/>
6. GERCIMA. [Consult. 2 maio. 2019]. Disponível em <https://www.gercima.com.pt/>
7. BOAVISTA. [Consult. 2 maio. 2019]. Disponível em <http://www.boavistawindows.com/>
8. PEREIRA. Acácio José Viegas – Desenvolvimento de Novos Produtos em Vidro Utilizando Tecnologias de Prototipagem Rápida. Porto. 2006. Dissertação.
9. AGRELA. Alexandra Félix – Quantificação do Coeficiente de Transmissão Térmica de Vãos Envidraçados. Porto. 2011. Dissertação.
10. BALTARVIDRO. [Consult. 9 maio. 2019]. Disponível em <http://www.baltarvidro.pt/materiais>
11. VIDRARIA TAIPAS. [Consult. 14 maio. 2019]. Disponível em <https://www.vidrariataipas.com/pt/>
12. HORIZONTAL. [Consult. 14 maio. 2019]. Disponível em <http://www.horizontal.pt/>
13. TEPSOL. [Consult. 14 maio. 2019]. Disponível em <https://tepsol.pt/>
14. ALUMINETO. [Consult. 14 maio. 2019]. Disponível em <http://alumineto.pt/>
15. CAIXIAVE – Marcação CE. [Consult. 25 de maio. 2019]. Disponível em <http://www.caixiave.pt/pt/download>
16. CLASSE+. [Consult. 25 de maio. 2019]. Disponível em <https://www.classemais.pt/>
17. DESPACHO n.º 15793-F/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 35088(26)-35088(31)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

18. DESPACHO n.º 15793-K/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 35088(58)-35088(87)
19. DESPACHO n.º 15793-l/2013. D.R. 2ª Série. 234 (3-12-2013) 35088(41)-35088(54)
20. PORTARIA n.º 349-B/2013. D.R. 1ª Série. 232 (29-11-2013) 6624(18)-6624(29)
21. PORTARIA n.º 349-A/2015. D.R. 1ª Série. 207 (22-10-2015) 9196(14)-9196(17)
22. PORTARIA n.º 319/2016. D.R. 1ª Série. 239 (15-9-2016) 4723-4725
23. PORTARIA n.º 98/2019. D.R. 1ª Série. 65 (2-4-2019) 1816-1818
24. LNEC – ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
25. NP 1037-1. 2002, Edifícios de habitação. Ventilação natural. Lisboa: IPQ
26. ADENE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) Perguntas & Respostas. [Consult. 25 de maio. 2019]. Disponível em <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2018/11/SCE-Perguntas-e-respostas-Outubro-2018.pdf>

ANEXO I – ZONAS CLIMÁTICAS

Parâmetros climáticos para a estação de aquecimento

Cidade	NUTS III	Z [m]	Z _{REF} [m]	M			GD			G _{sul} [kWh/m ²]
				X _{REF} [meses]	a [mês/km]	X [meses]	X _{REF} [°C]	a [°C/km]	X [°C]	
Funchal	R.A. Madeira	425	380	3,2	1	3,2	618	1500	686	105
Porto	Grande Porto	100	94	6,2	2	6,2	1250	1600	1260	130
Évora	Alentejo Central	250	221	5,3	2	5,4	1150	1100	1182	150
Porto de Mós	Pinhal Litoral	185	126	6,6	0	6,6	1323	1900	1435	140
Braga	Cávado	200	171	6,8	1	6,8	1491	1300	1529	125
Covilhã	Cova da Beira	550	507	7,1	0	7,1	1687	1400	1747	140
Montalegre	Alto Trás-os-Montes	950	680	7,3	0	7,3	2015	1400	2393	125
Seia	Serra da Estrela	550	553	7,5	0	7,5	1851	1600	1846	135
Macedo de Cavaleiros	Alto Trás-os-Montes	565	680	7,3	0	7,3	2015	1400	1854	125

Parâmetros climáticos para a estação de arrefecimento

Cidade	NUTS III	Z [m]	Z _{REF} [m]	$\theta_{ext,v}$			I _{sol} [kWh/m ²]									
				X _{REF} [°C]	a [°C/km]	X [°C]	0°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	
							0°	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Funchal	R.A. Madeira	425	380	20,2	-6	19,9	580	195	260	325	320	280	320	325	260	
Porto	Grande Porto	100	94	20,9	0	20,9	800	220	350	490	490	425	490	490	350	
Évora	Alentejo Central	250	221	24,3	0	24,3	850	225	370	510	500	415	500	510	370	
Porto de Mós	Pinhal Litoral	185	126	20,1	-2	20,0	830	225	360	500	495	415	495	500	360	
Braga	Cávado	200	171	20,7	-3	20,6	795	220	345	485	490	425	490	485	345	
Covilhã	Cova da Beira	550	507	22,5	-6	22,2	825	225	360	495	495	425	495	495	360	
Montalegre	Alto Trás-os-Montes	950	680	21,5	-7	19,6	790	220	345	480	485	425	485	480	345	
Seia	Serra da Estrela	550	553	21	-4	21,0	820	225	355	495	495	420	495	495	355	
Macedo de Cavaleiros	Alto Trás-os-Montes	565	680	21,5	-7	22,3	790	220	345	480	485	425	485	480	345	

ANEXO II – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

Coeficientes de Transmissão térmica dos elementos construtivos, relativos à zona climática I1

Parede exterior				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]	Ref.
Rsi		-	0,130	RHE
Gesso projetado (600 - 900 Kg/m ³)	0,02	0,3	0,067	ITE 50
Bloco betão normal	0,25	-	0,330	ITE 50
Reboco de argamassa (1800-2000 Kg/m ³)	0,02	1,3	0,015	ITE 50
EPS	0,06	0,037	1,622	ITE 50
Reboco de argamassa (1800-2000 Kg/m ³)	0,005	1,3	0,004	ITE 50
Rse		-	0,040	RHE
Espessura total [m]	0,355	R_{total} [(m².°C)/W]	2,208	
		U [W/(m².°C)]	0,45	

Pavimento sobre vazio sanitário				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]	Ref.
Rsi	-	-	0,170	REH
Betão leve, (800 - 1000 Kg/m ³)	0,05	0,33	0,152	ITE 50
XPS	0,08	0,037	2,162	ITE 50
Betão armado (2300-2600 Kg/m ³)	0,05	2	0,025	ITE 50
Rsi	-	-	0,170	REH
Espessura total [m]	0,18	R_{total} [(m².°C)/W]	2,679	
		U [W/(m².°C)]	0,37	

Cobertura				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]	Ref.
Rsi	-	-	0,100	RHE
Gesso projetado (600 - 900 Kg/m ³)	0,02	0,3	0,067	ITE 50
Betão armado (2300-2600 Kg/m ³)	0,2	2	0,100	ITE 50
Betão leve (800 - 1000 Kg/m ³)	0,02	0,33	0,061	ITE 50
XPS	0,08	0,037	2,162	ITE 50
Seixo/brita	0,05	2	0,025	ITE 50
Rse	-	-	0,040	REH
Espessura total [m]	0,37	R_{total} [(m².°C)/W]	2,554	
		U [W/(m².°C)]	0,39	

PTP (Pilar e Viga)				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]	Ref.
Rsi	-	-	0,130	REH
Gesso projetado (600 - 900 Kg/m³)	0,02	0,3	0,067	ITE 50
Betão armado (2300-2600 Kg/m³)	0,25	2	0,125	ITE 50
Reboco de argamassa (1800-2000 Kg/m³)	0,02	1,3	0,015	ITE 50
XPS	0,06	0,037	1,622	ITE 50
Reboco de argamassa (1800-2000 Kg/m³)	0,005	1,3	0,004	ITE 50
Rse	-	-	0,040	REH
Espessura total [m]	0,355	R_{total} [(m².°C)/W]	2,003	
		U [W/(m².°C)]	0,50	

Parede interior				
Elemento	Espessura [m]	λ [W/(m.°C)]	R [(m².°C)/W]	Ref.
Rsi		-	0,130	REH
Gesso projetado (600 - 900 Kg/m³)	0,02	0,3	0,067	ITE 50
Tijolo cerâmico furado	0,11	-	0,270	ITE 50
Gesso projetado (600 - 900 Kg/m³)	0,02	0,3	0,067	ITE 50
Rsi		-	0,130	REH
Espessura total [m]	0,15	R_{total} [(m².°C)/W]	0,663	
		U [W/(m².°C)]	1,51	

Nota: relativamente às zonas climáticas I2 e I3, o cálculo é idêntico, apenas variando a espessura do isolamento térmico

Coeficientes de Transmissão térmica dos vãos envidraçados


Vão	Dimensões [mm]	Caixilharia	Vidro	A _{env} [m ²]	A _f [m ²]	U _f [W/(m ² .°C)]	A _g [m ²]	U _g [W/(m ² .°C)]	Ψ _g [W/(m ² .°C)]	L _g [m]	U _w [W/(m ² .°C)]	U _{n,1} [W/(m ² .°C)]	U _{wdn,1} [W/(m ² .°C)]
V1	5956x2600	Alumínio (AZ - Anicolor)	T1	15,49	2,96	6,30	12,52	2,71	0,02	39,44	3,45	2,63	3,04
			T2	15,49	2,96	6,30	12,52	1,12	0,05	39,44	2,23	1,86	2,05
			T3	15,49	2,96	6,30	12,52	1,04	0,05	39,44	2,17	1,82	2,00
			T4	15,49	2,96	6,30	12,52	-	0,05	39,44	-	-	-
		Alumínio (AKi - Anicolor)	T1	15,49	2,95	2,10	12,53	2,71	0,08	39,45	2,80	2,23	2,52
			T2	15,49	2,95	2,10	12,53	1,12	0,11	39,45	1,58	1,39	1,48
			T3	15,49	2,95	2,10	12,53	1,04	0,11	39,45	1,52	1,34	1,43
			T4	15,49	2,95	2,10	12,53	0,64	0,11	39,45	1,20	1,08	1,14
		PVC (W70 - Winbel)	T1	15,49	2,92	1,30	12,56	2,71	0,06	39,47	2,60	2,10	2,35
			T2	15,49	2,92	1,30	12,56	1,12	0,08	39,47	1,35	1,21	1,28
			T3	15,49	2,92	1,30	12,56	1,04	0,08	39,47	1,29	1,16	1,22
			T4	15,49	2,92	1,30	12,56	0,64	0,08	39,47	0,97	0,89	0,93
		Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T1	15,49	2,76	1,87	12,73	2,71	0,06	39,63	2,71	2,18	2,45
			T2	15,49	2,76	1,87	12,73	1,12	0,08	39,63	1,45	1,29	1,37
			T3	15,49	2,76	1,87	12,73	1,04	0,08	39,63	1,39	1,24	1,31
			T4	15,49	2,76	1,87	12,73	-	0,08	39,63	-	-	-
Madeira (R68 - Gercima)	T1	15,49	3,20	2,40	12,29	2,71	0,06	39,19	2,80	2,24	2,52		
	T2	15,49	3,20	2,40	12,29	1,12	0,08	39,19	1,58	1,39	1,48		
	T3	15,49	3,20	2,40	12,29	1,04	0,08	39,19	1,52	1,34	1,43		
	T4	15,49	3,20	2,40	12,29	0,64	0,08	39,19	1,20	1,09	1,14		
V2	1199x2600	Alumínio (AZ - Anicolor)	T1	3,12	0,91	6,30	2,21	2,71	0,02	6,57	3,80	2,83	3,31
			T2	3,12	0,91	6,30	2,21	1,12	0,05	6,57	2,73	2,19	2,46
			T3	3,12	0,91	6,30	2,21	1,04	0,05	6,57	2,68	2,16	2,42
			T4	3,12	0,91	6,30	2,21	-	0,05	6,57	-	-	-
			T1	3,12	0,90	2,10	2,21	2,71	0,08	6,58	2,70	2,17	2,44
			T2	3,12	0,90	2,10	2,21	1,12	0,11	6,58	1,63	1,42	1,53


		Alumínio (AKi - Anicolor)	T3	3,12	0,90	2,10	2,21	1,04	0,11	6,58	1,58	1,38	1,48		
			T4	3,12	0,90	2,10	2,21	0,64	0,11	6,58	1,29	1,16	1,23		
		PVC (W70 - Winbel)	T1	3,12	0,85	1,30	2,27	2,71	0,06	6,65	2,45	2,01	2,23		
			T2	3,12	0,85	1,30	2,27	1,12	0,08	6,65	1,34	1,19	1,26		
			T3	3,12	0,85	1,30	2,27	1,04	0,08	6,65	1,28	1,15	1,21		
		Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T4	3,12	0,85	1,30	2,27	0,64	0,08	6,65	0,99	0,91	0,95		
			T1	3,12	0,84	1,87	2,28	2,71	0,06	6,65	2,61	2,11	2,36		
			T2	3,12	0,84	1,87	2,28	1,12	0,08	6,65	1,49	1,31	1,40		
			T3	3,12	0,84	1,87	2,28	1,04	0,08	6,65	1,43	1,27	1,35		
		Madeira (R68 - Gercima)	T4	3,12	0,84	1,87	2,28	-	0,08	6,65	-	-	-		
			T1	3,12	0,82	2,40	2,30	2,71	0,06	6,68	2,76	2,21	2,48		
			T2	3,12	0,82	2,40	2,30	1,12	0,08	6,68	1,62	1,42	1,52		
			T3	3,12	0,82	2,40	2,30	1,04	0,08	6,68	1,57	1,37	1,47		
		V3	3823x2600	Alumínio (AZ - Anicolor)	T4	3,12	0,82	2,40	2,30	0,64	0,08	6,68	1,27	1,14	1,21
					T1	9,94	2,26	6,30	7,68	2,71	0,02	25,63	3,58	2,71	3,14
					T2	9,94	2,26	6,30	7,68	1,12	0,05	25,63	2,42	1,99	2,21
T3	9,94				2,26	6,30	7,68	1,04	0,05	25,63	2,36	1,95	2,16		
Alumínio (AKi - Anicolor)	T4			9,94	2,26	6,30	7,68	-	0,05	25,63	-	-	-		
	T1			9,94	2,25	2,10	7,69	2,71	0,08	25,64	2,78	2,22	2,50		
	T2			9,94	2,25	2,10	7,69	1,12	0,11	25,64	1,62	1,41	1,52		
	T3			9,94	2,25	2,10	7,69	1,04	0,11	25,64	1,56	1,37	1,47		
PVC ...	T4			9,94	2,25	2,10	7,69	0,64	0,11	25,64	1,25	1,12	1,19		
	T1			9,94	2,17	1,30	7,77	2,71	0,06	25,72	2,56	2,08	2,32		
	T2			9,94	2,17	1,30	7,77	1,12	0,08	25,72	1,36	1,21	1,29		
	T3			9,94	2,17	1,30	7,77	1,04	0,08	25,72	1,30	1,17	1,23		
Fibra de Vidro (BWTT60 - Boavista)	T4			9,94	2,17	1,30	7,77	0,64	0,08	25,72	0,99	0,91	0,95		
	T1			9,94	2,08	1,87	7,86	2,71	0,06	25,82	2,69	2,17	2,43		
	T2			9,94	2,08	1,87	7,86	1,12	0,08	25,82	1,48	1,31	1,39		
	T3			9,94	2,08	1,87	7,86	1,04	0,08	25,82	1,42	1,26	1,34		
			T4	9,94	2,08	1,87	7,86	-	0,08	25,82	-	-	-		
			T1	9,94	2,29	2,40	7,65	2,71	0,06	25,60	2,79	2,23	2,51		

ANEXO II

		Madeira (R68 - Gercima)	T2	9,94	2,29	2,40	7,65	1,12	0,08	25,60	1,62	1,41	1,51
			T3	9,94	2,29	2,40	7,65	1,04	0,08	25,60	1,56	1,37	1,46
			T4	9,94	2,29	2,40	7,65	0,64	0,08	25,60	1,25	1,12	1,19

ANEXO III – RENOVAÇÃO DE AR – LNEC

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS			Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnecc.pt Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20						
1. Enquadramento do edifício						
Tipo de edifício		Habitação_novo_ou_grande_reabilitação			Área útil (m2): 88,9	
Local (município)		Évora			Pd (m): 2,60	
Região		A			N.º de pisos da fração: 1	
Rugosidade		I			Velocidade vento: Defeito REH	
Altitude do local (m)		250			Vento (u10REH: 3,6) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)		1			Vol (m3): 231	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?		Não			Texteior (°C): 9,9	
Altura do edifício (H _{edif}) em m		2,63			Zref (m): 221	
Altura da fração (H _{fA}) em m		2,63			Aenw/Au: 32%	
					Proteção do edifício: Desprotegido	
					Zona da fachada: Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente						
Foi medido valor n50		Não				
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:		Abrir tipo 1				
Área dos vãos (m2)		28,54				
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)		4				
Permeabilidade ao ar das caixas de estore		Não tem				
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente		Sim				
Tipo de abertura		Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa	
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)		350				
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta						
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)		Sim	Não	Não	Não	
Escoamento de ar		Exaustão				
Perda de carga		Média				
Altura da conduta (m)		3				
Cobertura		Em terraço, inclinada (<10º)				
Número de condutas semelhantes		1				
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado						
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
Tem sistema de recuperação de calor						
Rendimento da recuperação de calor (%)						
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)						
Existem meios híbridos		Não				
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m3/h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador(%)						
7. Verão - Recuperador de calor						
8. Resultados						
8.1 - Balanço de Energia - Edifício						
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento		0,40			ok	
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento		0,60				
W _{vm} (kWh)		0,0				
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência						
R _{ph,i REF} (h-1)		0,40				
8.3 - Caudal mínimo de ventilação						
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)		0,40				
Requisito mínimo de ventilação (h-1)		0,40				
Critério R _{ph} mínimo		Satisfatório				
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.						
					Técnico: _____	
					Data: 18/06/2019	

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	Aplicação LNEC Ventilação REH e RECS		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnecc.pt	
			Ferramenta de cálculo citada no n.º3, do ponto 12.1, do despacho n.º 15793-K/2013.	
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS. Lisboa, LNEC, 2018. v2.0b, 2018-04-20				
1. Enquadramento do edifício				
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação	Área útil (m2):	88,9	
Local (município)	Montalegre	Pd (m):	2,60	
Região	A	N.º de pisos da fração	1	
Rugosidade	I	Velocidade vento	Defeito REH	
Altitude do local (m)	950	Vento (u10REH: 3,6) (m/s)		
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	1	Vol (m3):	231	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Não	Texterior (°C)	4,4	
Altura do edifício (H _{edif}) em m	2,63	Zref (m)	680	
Altura da fração (H _{Fa}) em m	2,63	Aenv/Au:	32%	
		Proteção do edifício:	Desprotegido	
		Zona da fachada:	Inferior	
2. Permeabilidade ao ar da envolvente				
Foi medido valor n50	Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Abrir tipo 1			
Área dos vãos (m2)	28,54	0	0	0
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	4	4	4	4
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente				
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim			
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)	350	0	0	0
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta				
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Sim	Não	Não	Não
Escoamento de ar	Exaustão			
Perda de carga	Média			
Altura da conduta (m)	3			
Cobertura	Em terraço, inclinada (<10º)			
Número de condutas semelhantes	1			
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado				
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m3/h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)				
Existem meios híbridos	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m3/h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
7. Verão - Recuperador de calor				
8. Resultados				
8.1 - Balanço de Energia - Edifício				
R _{ph,i} (h-1) - Aquecimento	0,42			
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0,60			
W _{vm} (kWh)	0,0			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência				
R _{ph,i REF} (h-1)	0,42			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação				
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0,42			
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40			
Critério R _{ph} mínimo	Satisfatório			
Nota: No Cálculo de R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.				
			Técnico:	
			Data:	18/06/2019

ANEXO IV – FOLHAS DE CÁLCULO

Folha de cálculo relativa à solução:

Localização: Évora

Orientação da fachada principal: Sul

Meio: Urbano

Vão envidraçado: Caixilharia de PVC e vidro T2

Dispositivo de proteção: Estores venezianos de lâminas metálicas

Sombreamento: Toldos de braços articulados manuais

DADOS CLIMÁTICOS

Localização: Altitude m

Zona climática: Inverno Verão

Zref: m

Dados climáticos de inverno

Mref meses a M meses

Gdref °C.dia a GD °C.dia

Gsul kWh/m²/mês

Dados climáticos de verão

text,v ref °C a text,v °C

Isol kWh/m²

N

NE

E

SE

S

SW

W

NW

HOR

Perdas associadas à Envoltente Exterior e em Contacto com o Solo

Paredes Exteriores	Área (m ²)	U (W/(m ² .°C))	U.A (W/°C)
Paredes Exteriores - N, E, W, S	68,20	0,45	30,69
PTP - Pilares	1,30	0,50	0,65
PTP - Vigas	1,47	0,50	0,74
	70,97	TOTAL	32,08

Coberturas Exteriores	Área (m ²)	U (W/(m ² .°C))	U.A (W/°C)
em terraço	88,89	0,38	33,78
	88,89	TOTAL	33,78

Vãos envidraçados exteriores	Área (m ²)	U (W/(m ² .°C))	U.A (W/°C)
Verticais:			
sala / Cozinha / Hall (estore veneziano)	15,48	1,28	19,81
sala / Cozinha / Hall (cortina interior opaca)	3,12	1,26	3,93
Quarto (estore veneziano)	9,94	1,29	12,82
	28,54	TOTAL	36,57

Pontes térmicas lineares	Comp. B (m)	ψ (W/m.°C)	ψ.B (W/°C)
Ligações entre:			
Fachada com os pavimentos térreos			
Fachada com os pavimentos ext ou sobre ENU	27,92	0,5	13,96
Fachada com pavimentos intermédios			
Fachada com cobertura inclinada ou terraço	27,92	0,80	22,34
Fachada com varanda			
Duas paredes verticais	10,40	0,40	4,16
Fachada com caixa de estore			
Fachada com caixilharia	37,56	0,10	3,76
Outras			
	103,80	TOTAL	44,21

Hext- Coeficiente de transferência de calor pela envoltente exterior da Fracção Autónoma

(W/°C) **TOTAL 146,63**

Hecc - Coeficiente de transferência de calor pela envoltente em contacto com o solo da Fracção Autónoma

(W/°C) **TOTAL 0,00**

Perdas associadas à Envoltente para ENU

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Área (m ²)	U (W/(m ² .°C))	btr (-)	btr.U.A (W/°C)
Pavimento sobre vazio sanitário	88,89	0,37	1	32,89
	88,89		TOTAL	32,89

Henu - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fracção Autónoma

(W/°C) **TOTAL 32,89**

Hadj - Coeficiente de transferência de calor para ENU da Fracção Autónoma

(W/°C) **TOTAL**

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de Pavimento		88,89	(m ²)
Pé-direito médio		2,60	(m)
		=	
Volume interior	(V)	231,11	(m ³)

Volume		231,11	
		x	
Taxa de Renovação Nominal		0,40	Ver folha do LNEC
		x	
Recuperador de calor? Sim - bve=	0	1,00	(1-bve)
		x	
		0,34	
Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação da Fração Autónoma	TOTAL	=	
		31,43	(W/°C)

Ganhos Úteis na Estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos Solares:

Orientação	Designação	Tipo	Área	Factor de	Factor	Factor de	Fracção	Factor de	Área
	do vão	(S-simples ou	A	orientação	Solar	Obstrução	Envidraçada	Sel. Angular	Efectiva
	envidraçado	D-duplo)	(m ²)	X (-)	do vidro	Fs (-)	Fg (-)	Fw (-)	Ae (m ²)
					g (-)	Fh.Fo.Ff			
S	V1 (sala / Cozinha / Hall)	D	15,48	1,00	0,63	0,41	0,81	0,90	2,86
S	V2 (sala / Cozinha / Hall)	D	3,12	1,00	0,63	0,41	0,73	0,90	0,52
S	V3 (quarto)	D	9,94	1,00	0,63	0,41	0,78	0,90	1,77

28,54

Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m²)

5,15

x

Radiação incidente num envidraçado a Sul (G_{sul})
na zona 11 do Quadro III. 8 (Anexo III) - (kWh/m².mês)

150

x

Duração da estação de aquecimento - do Quadro III.1 (meses)

5,4

=

G_{sol} - Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)

4171,39

Ganhos Internos

Ganhos internos médios	4	(W/m ²)
	x	
Duração da Estação de Aquecimento M	5,4	(meses)
	x	
Área Útil de pavimento	88,89	(m ²)
	x	
	0,72	
	=	
G _{int} - Ganhos Internos Brutos	1382,42	(kWh/ano)

Ganhos Úteis Totais:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos} + \text{Ganhos Internos Brutos}}{\text{Necessidades Brutas de Aquecimento}} = \frac{5553,81}{5984,24}$$

Inércia do edifício: Forte a = 4,20 γ = 0,93

(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=4,2)

Factor de Utilização dos Ganhos Térmicos (η) = 0,837

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos = 5553,81

Ganhos Úteis Totais (kWh/ano) = 4646,22

Cálculo intermédio:

Se γ = 1	η = 0,81
Se γ > 0 e γ ≠ 1	η = 0,84
Se γ < 0	η = 0,93

Fraca	a = 1,8
Média	a = 2,6
Forte	a = 4,2

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

Perdas por transmissão pela envolvente exterior e ECS			
		Uref (W/m ² .°C)	
Paredes exteriores		0,50	
Coberturas exteriores		0,40	
Pavimentos exteriores		0,40	
Envidraçados exteriores Aenv	>	0,2xAp	
	28,54	17,78	
			A m ²
			Uref.A (W/°C)
			81,73
			40,87
			88,89
			35,56
			0,00
			0,00
			17,78
			49,78
			TOTAL
			126,20
		Yref (W/m.°C)	
Pontes térmicas lineares			B (m)
Fachada /pav.térreo + pav sobre ext ou ENU + cob + pav int + varanda		0,50	Yref.B (W/°C)
			55,84
2 Paredes Verticiais		0,40	27,92
Fachada com caixilharia e caixa de estore		0,20	10,40
			4,16
			37,56
			7,51
			TOTAL
			39,59
(Hexts + Hecs)ref- Coeficiente de transferência de calor para EXT e ECS da Fracção Autónoma			TOTAL
			165,79

Pavimentos sobre espaços não-úteis				
Pavimento sobre vazio sanitário	88,89	0,4	1	35,56
	88,89		TOTAL	35,56
(Henu+Hadj)ref- Coeficiente de transferência de calor para ENU e edifícios adjacentes da Fracção Autónoma			TOTAL	35,56

Perdas por renovação de ar	Rph,i	Req.	Rph,i ref	V	0.34*V*Rph,iref
Hvent =	0,40	≥ 0,4	0,40	231,11	31,43

Graus-dias no local (°C.dia) 1182

Qtr,i,ref	0,024 x GD x Htr,i,ref	5711,85	
Qve,i,ref	0,024 x GD x Hve,i,ref	891,65	
Qint	0,72 x 4 x M x Ap	1382,42	
Gsol,ref	Gsolx0.146x0.15xApXM	1576,82	
Qgu,i,ref	niref= 0,6	niref (Qint + Qsol)	1775,54

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) 54,31

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Hext	146,63
Hecs	0,00
Henu	32,89
Hadj	0,00

=

Htr -Coeficiente Global de Perdas por transmissão(W/°C) **179,52**

+

Hve- Coeficiente de transferência de calor por ventilação **31,43**

=

H - Coeficiente global de perdas **210,95**

x

Graus-dias no Local (°C.dia) **1182,00**

x

0,024

=

Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano) **5984,24**

-

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) **4646,22**

=

Necessidades de Aquecimento (kWh/ano) **1338,02**

/

Área Útil de Pavimento (m2) **88,89**

=

Nec. Nominais de Aquecimento - Nic (kWh/m2.ano) **15,05**

≤

Nec. Nominais de Aquec. Máximas - Ni (kWh/m2.ano) **54,31**Verifica **O.K.**Nic/Ni = **27,71%**

Perdas - transmissão + ventilação

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	32,08	(W/°C)
	+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	33,78	(W/°C)
	+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	36,57	(W/°C)
	+	
Perdas térmicas lineares associadas à parede ext (Y,B)	44,21	(W/°C)
Hext- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente exterior		
da Fracção Autónoma	TOTAL 146,63	(W/°C)
Hecs- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente ECS		
da Fracção Autónoma	TOTAL 0,00	(W/°C)
Perdas associadas aos pavimentos para ENU (U.A.btr)	32,89	(W/°C)
Henu- Coeficiente de transferência de calor pela envolvente interior		
da Fracção Autónoma	TOTAL 32,89	(W/°C)
H - Coeficiente global de perdas por transmissão da FA		
	TOTAL 179,52	(W/°C)
Hve - Coeficiente de perdas por ventilação da FA		
	TOTAL 47,15	(W/°C)
	=	
Perdas específicas totais	226,67	(W/°C)

Temperatura interior de referência	25,00	(°C)
	-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento (Quadro III.9)	24,3	(°C)
	=	
Diferença de temperatura interior-exterior	0,7	
	x	
Perdas específicas totais	226,67	(W/°C)
	x	
	2,928	
	=	
Perdas térmicas totais	464,58	(kWh)

**Ganhos Solares pela Envolvente Opaca exterior
POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL (inclui paredes e cobertura)**

Designação	Parede Sul	Pilar Sul	Parede Oeste	Viga Oeste	Parede Norte	Pilar Norte	Parede Este	Viga Este	Cobertura	
Orientação	s	S	O	O	N	N	E	E	H	
Área, A (m ²)	0,36	0,65	18,84	0,75	30,91	0,65	18,09	0,72	88,89	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
U (W/m ² °C)	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45	0,50	0,45	0,50	0,39	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Coeficiente de absorção, α	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
factor F - fachadas ou cob. Vent.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ir (kWh/m ²)	415	415	510	510	225	225	510	510	850	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Rse(m ² .°C/W)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de sombreamento - opcional	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
G. Sol. Envolvente Opaca Ex.	1,08	2,16	69,18	3,06	50,07	1,17	66,43	2,94	471,47	667,56 (kWh)

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Designação do envidraçado	Janelas a Nortel - sala	Janelas a Nortel - sala	Janelas a Nortel - Quarto				
Tipo de Vidro (D-duplo S-simples)	D	D	D	D	D		
Orientação	S	S	S				
Área, A (m ²)	15,48	3,12	9,94	0	0	0	
Fracção envidraçada, Fg	0,81	0,73	0,78	0	0	0	
Fator de seletividade angular Fw,v	0,75	0,75	0,75	0	0	0	
Fração de tempo proteções móveis ativas Fm,v	0,6	0,6	0,6	0	0	0	
FS global prot. Móveis e permanentes gt	0,09	0,09	0,09	0,00	0,00	0	
FS global prot. permanentes gtp	0,626	0,626	0,626	0	0	0	
Fator Solar de verão gv	0,24	0,24	0,24	0,00	0,00	0,00	
Área Efetiva As,v	3,03	0,55	1,87	0,00	0,00	0,00	
	x	x	x	x	x	x	
Factor de obstrução, Fs	0,51	0,51	0,51	0,00	0,00	0,00	
	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m ²)	415	415	415	0	0	0	
	=	=	=	=	=	=	
Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores	641,70	116,56	396,79	0,00	0,00	0,00	1155,04 (KWh)

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (Nvc)

Ganhos Térmicos Totais	2863,68	(kWh)
/		
Perdas Térmicas Totais	464,58	(kWh)
=		
γ = Ganhos/Perdas	$\gamma =$ 6,164	
Inércia do edifício	Forte	
<i>(In. Fraca=1,8; In. Média=2,6; In. Forte=4,2)</i>		
	a = 4,2	

$$\Delta\theta = (25-\theta_{ext,v}) = 0,7$$

$$\Delta\theta > 1 \quad \eta_{ref} = 0.52+0.22*\ln(\Delta q) = 0,442$$

$$0 < \Delta\theta \leq 1 \quad \eta_{ref} = 0,450$$

$$\Delta\theta \leq 0 \quad \eta_{ref} = 0,300$$

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η	0,162	
	=	
	0,838	
	x	
Ganhos Térmicos Totais	2863,68	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	2399,28	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	88,89	
	=	
Necessidades Nominais de Arrefecimento - Nvc	26,99	(kWh/(m ² .ano))
	≤	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	31,04	(kWh/(m ² .ano))

	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos, η_{ref}	0,442	
	=	
	0,558	
	x	
Ganhos Térmicos Totais de ref ($q_{int} \times 2.928 + 0.43 \times 0.2 \times \text{Isol,ref}$) x Ap	4939,80	(kWh)
	=	
Necessidades Brutas de Arrefecimento	2758,72	(kWh/ano)
	/	
Área Útil de Pavimento (m ²)	88,89	
	=	
Necessidades Nominais de Arref. Máximas - Nv	31,04	(kWh/(m ² .ano))

Verifica	O.K.
Nvc/Nv (%) =	86,97

ANEXO V – PERÍODO DE RETORNO

Solução caixilharia de PVC com vidro T3 (Évora)

	Anos											
	0	5	10	20	25	30	40	45	50	55	60	61
Investimento e despesas	-2327,15											
Recebimentos		38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58
Fluxo de caixa (cashflow)	-2327,15	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58	38,58
Fluxo caixa acumulado	-2327,15	-2134,25	-1941,35	-1555,55	-1362,65	-1169,75	-783,95	-591,05	-398,15	-205,25	-12,35	26,23

Solução caixilharia de PVC com vidro T2 + toldos (Évora)

	Anos												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Investimento e despesas	-2935,91												
Recebimentos		262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47
Fluxo de caixa (cashflow)	-2935,91	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47	262,47
Fluxo caixa acumulado	-2935,91	-2673,44	-2410,97	-2148,5	-1886,03	-1623,56	-1361,09	-1098,62	-836,15	-573,68	-311,21	-48,74	213,73

Solução caixilharia de PVC com vidro T3 (Montalegre)

	Anos													
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	58	59
Investimento e despesas	-2327,15													
Recebimentos		40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09
Fluxo de caixa (cashflow)	-2327,15	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09	40,09
Fluxo caixa acumulado	-2327,15	-2126,7	-1926,25	-1725,8	-1525,35	-1324,9	-1124,45	-924	-723,55	-523,1	-322,65	-122,2	-1,93	38,16

Solução caixilharia de PVC com vidro T2 + toldos (Montalegre)

	Anos											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Investimento e despesas	-2935,91											
Recebimentos		366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36
Fluxo de caixa (cashflow)	-2935,91	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36	366,36
Fluxo caixa acumulado	-2935,91	-2569,55	-2203,19	-1836,83	-1470,47	-1104,11	-737,75	-371,39	-5,03	361,33	727,69	

Solução caixilharia de alumínio s/ corte térmico com vidro T2 + toldos (Évora)

	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Investimento e despesas	-2021,37													
Recebimentos		192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48
Fluxo de caixa (cashflow)	-2021,37	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48	192,48
Fluxo caixa acumulado	-2021,37	-1828,89	-1636,41	-1443,93	-1251,45	-1058,97	-866,49	-674,01	-481,53	-289,05	-96,57	95,91	288,39	480,87

Solução caixilharia de alumínio c/ corte térmico com vidro T2 + toldos (Évora)

	Anos													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Investimento e despesas	-3141,32													
Recebimentos		244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97
Fluxo de caixa (cashflow)	-3141,32	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97	244,97
Fluxo caixa acumulado	-3141,32	-2896,35	-2651,38	-2406,41	-2161,44	-1916,47	-1671,5	-1426,53	-1181,56	-936,59	-691,62	-446,65	-201,68	43,29

Solução caixilharia de fibra de vidro com vidro T2 + toldos (Évora)

	Anos												
	0	5	10	15	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Investimento e despesas	-5755,51												
Recebimentos		256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55
Fluxo de caixa (cashflow)	-5755,51	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55	256,55
Fluxo caixa acumulado	-5755,51	-4472,76	-3190,01	-1907,26	-624,51	-367,96	-111,41	145,14	401,69	658,24	914,79	1171,34	1427,89

Solução caixilharia de madeira com vidro T2 + toldos (Évora)

	Anos												
	0	5	10	15	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Investimento e despesas	-6633,40												
Recebimentos		244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15
Fluxo de caixa (cashflow)	-6633,4	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15	244,15
Fluxo caixa acumulado	-6633,4	-5412,65	-4191,9	-2971,15	-1750,4	-1506,25	-1262,1	-1017,95	-773,8	-529,65	-285,5	-41,35	202,8

Solução caixilharia de alumínio s/ corte térmico com vidro T2 + toldos (Montalegre)

	Anos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investimento e despesas	-3141,32										
Recebimentos		317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17
Fluxo de caixa (cashflow)	-3141,32	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17	317,17
Fluxo caixa acumulado	-3141,32	-2824,15	-2506,98	-2189,81	-1872,64	-1555,47	-1238,3	-921,13	-603,96	-286,79	30,38

Solução caixilharia de fibra de vidro com vidro T2 + toldos (Montalegre)

	Anos											
	0	5	10	15	16	17	18	19	20	21	22	
Investimento e despesas	-5755,51											
Recebimentos		351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	
Fluxo de caixa (cashflow)	-5755,51	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	351,89	
Fluxo caixa acumulado	-5755,51	-3996,06	-2236,61	-477,16	-125,27	226,62	578,51	930,4	1282,29	1634,18	1986,07	

Solução caixilharia de madeira com vidro T2 + toldos (Montalegre)

	Anos										
	0	5	10	15	16	17	18	19	20	21	22
Investimento e despesas	-6633,40										
Recebimentos		313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45
Fluxo de caixa (cashflow)	-6633,4	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45	313,45
Fluxo caixa acumulado	-6633,4	-5066,15	-3498,9	-1931,65	-1618,2	-1304,75	-991,3	-677,85	-364,4	-50,95	262,5

ANEXO VI – FICHAS TÉCNICAS

Caixilharia de alumínio sem corte térmico

AZ

Sistema AZ

Sistema de batente de câmara europeia - 40 mm

Características do sistema

Sistema de batente com câmara europeia e tripla vedação em EPDM (exterior, central, interior).

O sistema AZ possibilita a execução de 4 versões de caixilharia:

1. linha recta;
2. linha curva;
3. linha tradição;
4. linha oval.

Perfis de alumínio

Os perfis de alumínio são extrudidos na liga de alumínio 6060 para arquitectura de acordo com norma NP EN 12020-02.

Espessura média dos perfis de alumínio de 1.5 mm para janelas e portas.

Aros fixos

Secção dos aros fixos de 40 mm ou 72 mm;

Aros fixos com esquadro para montagem a meia esquadria.

Aros móveis

Secção dos aros móveis de 48 mm;

Enchimento para vidro simples ou duplo de 4 mm a 32 mm;

Aros móveis de linha recta, curva, tradição sem bite ou oval sem bite;

Aros móveis com esquadro para montagem a meia esquadria;

Perfil inversor de linha recta ou tradição.

Dimensionamento e manobralidade

Dimensões mínimas - máximas de folha: 375 mm - 1700 mm (L); 410 mm - 2700 mm (H);

Peso máximo de 110 kg por folha com oscilo-batente;

Peso máximo de 90 kg por folha para janelas de abrir;

Peso máximo de 150 kg por folha com dobradiça porta;

Possibilidades de abertura: batente interior (com ou sem oscilo-batente), exterior, basculante, projectante, pivotante, harmónio e oscilo-paralela;

Estanquidade assegurada através de juntas triplas em EPDM.

208

Performances

Sistema certificado por laboratório notificado para Ensaio Tipo Inicial (ITT) de acordo com a norma de produto EN 14351-1 para efeitos de Marcação CE.

Categorias alcançadas na avaliação do sistema AZ tipologia janela:

1. Permeabilidade ao ar: Classe 4 (norma de ensaio EN 1026)
2. Estanquidade à água: Classe 9A (norma de ensaio EN 1027)
3. Resistência ao vento: Classe C5 (norma de ensaio EN 12211)

Categorias alcançadas na avaliação do sistema AZ tipologia porta:

1. Permeabilidade ao ar: Classe 3 (norma de ensaio EN 1026)
2. Estanquidade à água: Classe 8A (norma de ensaio EN 1027)
3. Resistência ao vento: Classe C2 (norma de ensaio EN 12211)
4. Resistência à torção estática: Apto 350N (norma de ensaio EN 14609)

Coeficiente de transmissão térmica de vão de 2 folhas com 1.20 m x 1.50 m com vidro $U_g = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$:• $U_w = 2.92 \text{ W/m}^2\text{K}$

Coeficiente de atenuação acústica de vão de 2 folhas com vidro 4/12/4:

• $R_w (C; C_{tr}) = 33 \text{ dB} (-1; -4)$ Zonas de aplicação segundo RCCTE (em função do valor U_g): I1, I2, I3, V1, V2, V3;

Caixilharia de alumínio com corte térmico

AKi

Sistema AKi

Sistema de batente com RPT - 75 mm

Características do sistema

Sistema de batente com rotura térmica de elevadas prestações térmicas e acústicas.

O sistema AKi possibilita a execução de 5 versões de caixilharia:

1. Linha recta;
2. Linha curva;
3. Linha tradição;
4. Linha oval;
5. Folha Oculta 3D.

O sistema AKi permite a aplicação de vidros duplos ou triplos de alto rendimento de modo a responder às exigências de isolamento térmico e acústico.

A versão AKi Folha Oculta permite a ocultação do aro móvel.

Perfis de alumínio

Os perfis de alumínio são extrudidos na liga de alumínio 6060 para arquitectura de acordo com norma NP EN 12020-02;

Rotura térmica obtida por inserção de varetas isolantes de poliamida tipo ómega de 39 mm, reforçadas com 25% de fibra de vidro; Espessura média dos perfis de alumínio de 1.5 mm para janelas e de 1.7 mm para portas.

Aros fixos

Secção dos aros fixos de 75 mm ou 99.5 mm com tripla câmara;

Aros fixos com esquadros duplos para montagem a meia esquadria;

Aros fixos tradicionais para mercado interno;

Aros fixos com clip exterior e aba de remate direta de 25 mm ou 45 mm;

Aros fixos com clip exterior e interior para aplicação de remate de 30 mm.

Aros móveis

Secção dos aros móveis de 83 mm com tripla câmara;

Enchimento para vidro duplo ou triplo de 24 mm a 60 mm no sistema AKi;

Enchimento para vidro duplo ou triplo até 34 mm no sistema AKi Folha Oculta 3D;

Aros móveis de linha recta, curva ou tradição;

Aros móveis com esquadros duplos para montagem a meia esquadria;

Perfil inversor de linha recta.

2

Dimensionamento e manobralidade

Dimensões mínimas - máximas de folha: 457 mm - 1700 mm (L); 600 mm - 2700 mm (H);

Possibilidades de abertura: fixo, batente interior 1 ou 2 folhas com oscilo-batente, exterior, basculante, projectante, pivotante, harmónio e oscilo-paralela;

Estanquidade assegurada através de juntas triplas em EPDM.

Performances

Sistema certificado por laboratório notificado para Ensaio Tipo Inicial (ITT) de acordo com a norma de produto EN 14351-1 para efeitos de Marcação CE.

Categorias alcançadas na avaliação do sistema AKi tipologia janela:

1. Permeabilidade ao ar: Classe 4 (norma de ensaio EN 1026)
2. Estanquidade à água: Classe E750 (norma de ensaio EN 1027)
3. Resistência ao vento: Classe C5 (norma de ensaio EN 12211)

Categorias alcançadas na avaliação do sistema AKi tipologia porta:

1. Permeabilidade ao ar: Classe 4 (norma de ensaio EN 1026)
2. Estanquidade à água: Classe E1200 (norma de ensaio EN 1027)
3. Resistência ao vento: Classe C2 (norma de ensaio EN 12211)
4. Resistência à torção estática: Apto 350N (norma de ensaio EN 14609)

Categorias alcançadas na avaliação do sistema AKi - Folha Oculta 3D tipologia janela:

1. Permeabilidade ao ar: Classe 4 (norma de ensaio EN 1026)
2. Estanquidade à água: Classe 8A (norma de ensaio EN 1027)
3. Resistência ao vento: Classe C5 (norma de ensaio EN 12211)

Coeficiente de transmissão térmica de vão de 2 folhas, sistema AKi, com 1.20 m x 1.50 m com vidro $U_g = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$, com intercalar efeito "Warm Edge":• $U_w = 1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$ Coeficiente de transmissão térmica de vão de 2 folhas, sistema AKi - Folha Oculta 3D, com 1.80m x 2.20m com vidro $U_g = 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, com intercalar efeito "Warm Edge":• $U_w = 1.11 \text{ W/m}^2\text{K}$

Coeficiente de atenuação acústica de vão de 2 folhas com vidro 5/16/5:

• $R_w (C; C_{tr}) = 35 \text{ dB} (-2; -4)$ Zonas de aplicação segundo RCCTE (em função do valor U_g): I1, I2, I3, V1, V2, V3.

Caixilharia de PVC

W 70

Las ventanas practicables oscilobatientes de la W70 son la forma más eficiente de mejorar su vivienda.



La inversión realizada en la renovación de las ventanas utilizando ventanas Winbel y vidrios aislantes, se amortizan en corto espacio de tiempo, a partir del cual tendrá muchos años de ahorro y confort.



Ahorran energía. La tecnología de las ventanas de PVC Winbel, unida a un vidrio adecuado, pueden suponer un ahorro de hasta el 68% en las pérdidas producidas a través de la ventana.



Aíslan del ruido. Silencio es confort. Con ventanas Winbel unidas a vidrios adecuados, puede reducir el ruido exterior hasta en 32 veces (50dB) la sensación de ruido del exterior.



Dan seguridad. Una ventana de PVC Winbel está dotada de refuerzos y herrajes de primeras marcas, lo que la convierten en una ventana muy segura.



Son aislantes. Nos protegen del calor, del frío, de la lluvia y del viento. Estaremos confortables en nuestro hogar, independientemente de la climatología exterior.

A través de las modernas termografías, se puede ver por las distintas tonalidades las pérdidas de calor de los edificios, distinguiendo así los puntos débiles de la fachada y los puntos a renovar. Estos puntos son precisamente las ventanas.



Classic-line



Soft-line

Ventanas practicables y oscilobatiente (70 mm)

- Valor $U_f = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Sistema de doble junta con dos niveles de estanqueidad
- Espesor de acristalado hasta 41 mm
- Distintos tipos de diseño para la hoja
- RC2: Seguridad antirrobo verificada
- Aislamiento acústico excelente, hasta alcanzar la clase IV
- Sistema de 5 cámaras en la combinación estándar
- Disponible en numerosos acabados de folio decorativo

Sistema de apertura	Practicable u oscilobatiente según herraje.
Perfiles de PVC	Sistema de 5 cámaras.
Herrajes de apertura	Herraje estándar para canal de 16mm practicable u oscilobatiente.
Vidrio	Canal de acristalamiento que permite vidrio de 5 a 41mm de espesor.

Ug W/m2 K	Uw W/m2 K	Norma NP EN 14351-1	Valores
1,6	1,65	Permeabilidad al aire	4
1,1	1,30	Estanqueidad al agua	E 1050
0,8	1,10	Resistencia al viento	C5

Ensayos realizados en ventanas de 1400x1400. Norma: NP EN 14351-1:2008+A1:2011

Caixilharia de Fibra de vidro**SISTEMA BWTT 60**Batente, oscilo-batente,
basculante, fixo.**B V AVISTA**
FIBRE
GLASS
WINDOWS

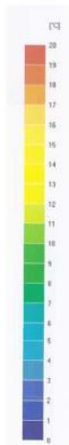
Painel Isolante



Vidro (22mm)



Temperatura



Painel Isolante



Vidro (35mm)



NP EN 14351-1:2008 + A1:2011

**Diagrama de temperatura**
Secção Vertical I° de incremento**Testes de performance**

Requisitos	Método de teste	Resultados	
Transmissão térmica [Uw]	ISO 12567-1 2010	A partir de 0,74 W/m2 oK	
Isolamento Acústico [Rw]	ISO 10140-1 2010 ISO 10140-2 2010 ISO 10140-4 2010 NP EN ISO 717-1 2009	39dB (-2; -4)	
Permeabilidade ao Ar	EN 1026 2000 EN 12207 1999	4	
Estanquidade à Água	EN 1027 2000 EN 12208 1999	8A	
Resistência ao Vento	EN 12211 2000 EN 12210 1999 C4 EN 12210 1999/AC 2002	C4	

Caixilharia de madeira**10 ANOS**
GARANTIA

www.gercima.com.pt

gercima@gercima.com.pt

**GERCIMA**[®]
Janelas em Madeira**PERFIL R68**

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Tipos de madeira	Sipo ou Castanho
Espessura do perfil	68 mm
Sistema de juntas	Respiga perfil e contra perfil selados
Profundidade construtiva	78 mm
Altura visível Aro/Folha	Aro 78 mm; Aro/Folha 115 mm
Vidro	SGG Planilux Temp. 8 (16 ar) 10 Temp. Incolor
Espessura máxima de vidro	34 mm admissíveis
Ferragem	Sistema de cremone e gaches GU (Gretsch-Unitas)
Eixo da ferragem	9 mm
Dobradiça	2 pernos
Vedantes	Uniform Triplex
Manete/Puxador	GU, Roto
Coefficiente de transmissão térmica Uf	2,4 W/(m ² .K) conforme EN10077
Resistência à carga de vento	Até Classe C4 conforme EN12210
Estanquidade à água	Classe 8A conforme EN12208
Permeabilidade ao ar	Classe 4 conforme EN12207
Resistência no plano das folhas	Classe 4 conforme EN13115
Isolamento acústico	Rw (c;ctr)→ 39 [-2;-4] dB conforme EN14351
Acabamento das superfícies	Impregnante, Isolante e Verniz/Pintura aquosas à cor RAL

Exemplos de abertura

Grande variedade de formas geométricas com diversos sistemas como: fixo, batente, oscilo-batente, oscilo-paralela, projetante, basculante e pivotante.

Dados técnicos

Janela GERCIMA ® perfil R68 derivada do R62 certificada pelo LNEC

Classe energética A classificada pela ADENE com etiquetagem CLASSE+



Vidro T1

Product code

81 / 75 / 2,7



total thickness = 27 mm

Glazing from external to internal:

Pane 1		Pane 2	
6 mm	Standard Float Glass (ift Rosenheim 2011)	5 mm	Standard Float Glass (ift Rosenheim 2011)
Spacer 1 - 16 mm			
100%	Air		

Results**Visible light (EN 410 - 2011)**

transmittance [%]	$\tau_v = 80,6$
reflectance external [%]	$\rho_v = 14,6$
reflectance internal [%]	$\rho_v = 14,7$
general colour rendering index	$R_a = 97,4$

Thermal properties (EN 673 - 2011)

U-value [W/(m ² K)]	slope $\alpha = 90^\circ$
according to EN:	$U_g = 2,7$
3 decimal places:	$U_g = 2,710$

Solar energy (EN 410 - 2011)

solar factor [%]	$g = 75,2$
shading coefficient [g/0.87]	$sc = 0,86$
direct transmittance [%]	$\tau_e = 69,7$
direct reflectance external [%]	$\rho_e = 12,7$
direct reflectance internal [%]	$\rho_e = 12,9$
direct absorption [%]	$a = 17,6$
UV transmittance [%]	$\tau_{uv} = 48,1$
secondary internal heat transfer factor [%]	$q_i = 5,4$

Other data

estimated sound reduction index [dB]	$R_w = \text{NPD}$
(EN 717-1)	$C = \text{NPD}$
	$C_{tr} = \text{NPD}$

Vidro T2



Product code

81 / 63 / 1,1



total thickness = 28 mm

Glazing from external to internal:

<p>Pane 1</p> <p>6 mm Float Glass ExtraClear</p>	<p>Spacer 1 - 16 mm</p> <p>10% Air 90% Argon</p>	<p>Pane 2</p> <p>6 mm ClimaGuard Premium2 Float Glass ExtraClear</p>
---	---	---

Results

Visible light (EN 410 - 2011)

transmittance [%]	$\tau_v = 81,0$
reflectance external [%]	$\rho_v = 12,3$
reflectance internal [%]	$\rho_v = 12,5$
general colour rendering index	$R_a = 97,3$

Solar energy (EN 410 - 2011)

solar factor [%]	$g = 62,6$
shading coefficient [g/0.87]	$sc = 0,72$
direct transmittance [%]	$\tau_e = 55,7$
direct reflectance external [%]	$\rho_e = 26,2$
direct reflectance internal [%]	$\rho_e = 26,2$
direct absorption [%]	$a = 18,1$
UV transmittance [%]	$\tau_{uv} = 34,7$
secondary internal heat transfer factor [%]	$q_i = 6,9$

Thermal properties (EN 673 - 2011)

U-value [W/(m ² K)]	slope $\alpha = 90^\circ$
according to EN:	$U_g = 1,1$
3 decimal places:	$U_g = 1,115$

Other data

estimated sound reduction index [dB]	$R_w = \text{NPD}$
(EN 717-1)	$C = \text{NPD}$
	$C_{tr} = \text{NPD}$

Vidro T3

Product code

59 / 29 / 1,0



total thickness = 27 mm

Glazing from external to internal:

<p>Pane 1</p> <p>6 mm Float Glass ExtraClear SunGuard SNX 60</p> <p>Spacer 1 - 16 mm</p> <p>10% Air 90% Argon</p>	<p>Pane 2</p> <p>5 mm Float Glass ExtraClear</p>
--	--

Results**Visible light (EN 410 - 2011)**

transmittance [%]	$\tau_v = 59,4$
reflectance external [%]	$\rho_v = 12,8$
reflectance internal [%]	$\rho_i = 12,7$
general colour rendering index	$R_a = 93,0$

Thermal properties (EN 673 - 2011)

U-value [W/(m ² K)]	slope $\alpha = 90^\circ$
according to EN:	$U_g = 1,0$
3 decimal places:	$U_g = 1,039$

Solar energy (EN 410 - 2011)

solar factor [%]	$g = 29,3$
shading coefficient [g/0.87]	$sc = 0,34$
direct transmittance [%]	$\tau_e = 27,3$
direct reflectance external [%]	$\rho_e = 38,0$
direct reflectance internal [%]	$\rho_i = 41,3$
direct absorption [%]	$a = 34,7$
UV transmittance [%]	$\tau_{uv} = 7,3$
secondary internal heat transfer factor [%]	$q_i = 2,0$

Other data

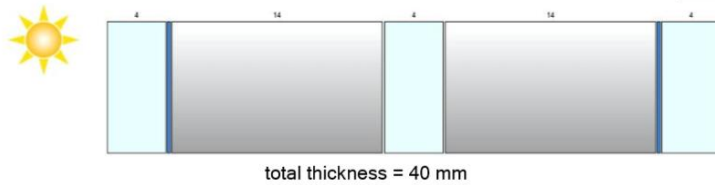
estimated sound reduction index [dB]	$R_w = \text{NPD}$
(EN 717-1)	$C = \text{NPD}$
	$C_{tr} = \text{NPD}$

Vidro T4



Product code

74 / 53 / 0,6



Glazing from external to internal:

<p>Pane 1</p> <p>4 mm Float Glass ExtraClear ClimaGuard Premium2</p>	<p>Pane 2</p> <p>4 mm Float Glass ExtraClear</p>	<p>Pane 3</p> <p>4 mm ClimaGuard Premium2 Float Glass ExtraClear</p>
<p>Spacer 1 - 14 mm</p> <p>10% Air 90% Argon</p>	<p>Spacer 2 - 14 mm</p> <p>10% Air 90% Argon</p>	

Results

Visible light (EN 410 - 2011)

transmittance [%]	$\tau_v = 74,1$
reflectance external [%]	$\rho_v = 15,8$
reflectance internal [%]	$\rho_v = 15,8$
general colour rendering index	$R_a = 97,1$

Thermal properties (EN 673 - 2011)

U-value [W/(m ² K)]	slope $\alpha = 90^\circ$
according to EN:	$U_g = 0,6$
3 decimal places:	$U_g = 0,637$

Solar energy (EN 410 - 2011)

solar factor [%]	$g = 52,7$
shading coefficient [g/0.87]	$sc = 0,61$
direct transmittance [%]	$\tau_e = 46,5$
direct reflectance external [%]	$\rho_e = 33,0$
direct reflectance internal [%]	$\rho_e = 33,0$
direct absorption [%]	$a = 20,5$
UV transmittance [%]	$\tau_{uv} = 22,4$
secondary internal heat transfer factor [%]	$q_i = 6,2$

Other data

estimated sound reduction index [dB] (EN 717-1)	$R_w = \text{NPD}$ $C = \text{NPD}$ $C_{tr} = \text{NPD}$
--	---