



Universidade de Évora

Mestrado em Engenharia Civil
Térmica de Edifícios

Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de Évora – Estudo de Caso



Autor:

Licenciada Ana Paula Domingos da Silva

Orientador:

Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

Évora, Setembro de 2009

Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri

Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de Évora – Estudo de Caso

Autor:

Licenciada Ana Paula Domingos da Silva

Orientador:

Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

Agradecimentos:

Ao Prof. Doutor José Júlio Correia da Silva, meu orientador, pelo imprescindível e valioso apoio prestado em todas as fases de execução desta dissertação, desejo manifestar os meus agradecimentos pela pronta disponibilidade e a minha gratidão e profundo reconhecimento.

À C.H.E. “Boa Vontade” e ao Sr. Eduardo Santos, pelas plantas fornecidas e pela autorização concedida em as usar e publicar.

A todos os meus amigos e familiares que, de uma forma ou de outra, me apoiaram ao longo da elaboração desta dissertação.

Ao Rui Silva, meu irmão, pelo consecutivo apoio e compreensão ao longo deste último ano.

Finalmente, agradeço, do fundo do coração, e dedico esta dissertação aos meus exemplos de vida, os meus pais, Fernando Silva e Maria Silva, por sempre me terem apoiado nos momentos difíceis e aplaudido nos momentos de glória.

Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de Évora – Estudo de Caso

Resumo

Este trabalho é um estudo de "caso" da Eficiência Energética de Edifícios de habitação localizados no concelho de Évora, funcionando como uma ferramenta de apoio que contribua para uma melhor aplicação do **RCCTE** – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril. Concretamente, este trabalho é um estudo detalhado do comportamento térmico de um edifício "caso", sujeito a diferentes situações, nomeadamente, diferentes orientações, diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados, diferentes áreas de envidraçado, diferentes espessuras de isolamentos térmicos e diferentes classes de inércia térmica, mantendo constantes a zona climática, as necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária e os sistemas de aquecimento e de arrefecimento.

Com este estudo, pretende-se obter uma maior sensibilização na escolha das soluções construtivas e arquitectónicas, de forma a garantir e, se possível, maximizar, a eficiência energética do edifício.

Energetic Efficiency of Buildings Located in the District of Évora – Case Study

Abstract

This work is a study of "case" of the energetic efficiency of residential buildings located in the district of Évora, working like a tool of support that helps and guarantees a better application of the Regulation of the Characteristics of Thermal Behaviour of Buildings – Decree-Law n°80/2006 on 4th April. Concretely, this work is a detailed study of the thermal behaviour of a building "case", subject to different situations, including different orientations, different types of window shading, different areas of glazed surfaces, different thicknesses of thermal insulation and different thermal inertia classes, keeping constant the climatic zone, the needs of energy for the preparation of hot water and heating and cooling systems.

This study intends to obtain a bigger sensitization in the choice of the constructive and architectural solutions, to guarantee, and if possible to maximize, the energetic efficiency of the building.

Índice

Introdução.....	1
Parte I – Definição do Edifício Objecto de Estudo e Determinação do seu Comportamento Térmico	5
I.1. Caracterização da Fracção Autónoma	7
I.1.1 – Descrição do Edifício	7
I.1.2 – Zonamento Climático	7
I.1.3 – Caracterização da Fracção Autónoma	7
I.2. Coeficiente de Redução das Perdas Térmicas para Locais Não Aquecidos ()....	9
I.3. Factor de Forma.....	10
I.4. Caracterização Térmica das Soluções Construtivas	11
I.4.1 – Soluções Construtivas	11
I.4.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3).....	21
I.4.3 – Inércia Térmica (I1,V3).....	22
I.4.4 – Perdas Térmicas.....	24
I.4.4.1 – Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)	24
I.4.4.2 – Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)	26
I.4.4.3 – Perdas Térmicas por Ventilação	27
I.4.5 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	28
I.4.5.1 – Factor Solar do Vão Envidraçado (g_{\perp})	28
I.4.5.2 – Factor de Obstrução (F_s).....	29
I.4.5.3 – Factor de Orientação (X_j)	34
I.4.5.4 – Fracção Envidraçada (F_g)	34
I.4.5.5 – Factor de Correção da Selectividade Angular dos Envidraçados (F_w)	34
I.5. Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic}).....	35
I.6. Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc}).....	36
I.7. Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac}).....	37
I.8. Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc}).....	40
Parte II – Estudo do Comportamento Térmico do Edifício para Diferentes Situações.	43
II.1. Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada em Diferentes Direcções	46

II.1.1 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Norte .	46
II.1.1.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	46
II.1.1.2 – Verificação do RCCTE	51
II.1.2 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Este ..	53
II.1.2.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	53
II.1.2.2 – Verificação do RCCTE	58
II.1.3 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Oeste	60
II.1.3.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	60
II.1.3.2 – Verificação do RCCTE	65
II.2. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamentos dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções	67
II.2.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Sul	67
II.2.1.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	67
II.2.1.2 – Verificação do RCCTE	68
II.2.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Norte.....	70
II.2.2.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	70
II.2.2.2 – Verificação do RCCTE	71
II.2.3 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Este	73
II.2.3.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	73
II.2.3.2 – Verificação do RCCTE	74
II.2.4 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Oeste.....	76
II.2.4.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)	76
II.2.4.2 – Verificação do RCCTE	77
II.3. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções	79
II.3.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Sul	80
II.3.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Norte	81
II.3.3 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Este.....	82
II.3.4 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Oeste	83

II.4. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento	
Térmico para a Fachada Principal Orientada a Sul	84
II.4.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento	
Térmico nas Paredes Exteriores para a Fachada Principal Orientada a Sul.....	84
II.4.1.1 – Para a situação de 30mm de isolamento (XPS) nas Paredes Exteriores PE1, PE2 e PE4.....	84
II.4.1.2 – Para a situação de 60mm de isolamento (XPS) nas Paredes Exteriores PE1, PE2 e PE4.....	86
II.4.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento	
Térmico na Cobertura para a Fachada Principal Orientada a Sul.....	88
II.4.2.1 – Para a situação de 40mm de isolamento (MW) na Cobertura.....	89
II.4.2.2 – Para a situação de 80mm de isolamento (MW) na Cobertura.....	91
II.5. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Classes de Inércia Térmica, para a Fachada Principal Orientada a Sul	93
II.5.1 – Classe de Inércia Térmica Média para a Fachada Principal Orientada a Sul ...	93
II.5.1.1 – Soluções Construtivas.....	93
II.5.1.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3).....	97
II.5.1.3 – Inércia Térmica (I1,V3).....	97
II.5.1.4 – Perdas Térmicas.....	99
II.5.1.5 – Verificação do RCCTE.....	101
II.5.2 – Classe de Inércia Térmica Fraca para a Fachada Principal Orientada a Sul...	102
II.5.2.1 – Soluções Construtivas.....	102
II.5.2.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3).....	106
II.5.2.3 – Inércia Térmica (I1,V3).....	107
II.5.2.4 – Perdas Térmicas.....	108
II.5.2.5 – Verificação do RCCTE.....	110
Parte III – Análise de Sensibilidade	111
III.1. Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções	113
III.2. Diferentes Tipos de Sombreamentos dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções	115
III.3. Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções	120
III.4. Diferentes Espessuras de Isolamento Térmico para a Fachada Principal Orientada a Sul	129
III.5. Diferentes Classes de Inércia Térmica para a Fachada Principal Orientada a Sul	134

Conclusões	137
Bibliografia	141
ANEXOS	145
ANEXO I - Folhas de Cálculo para a Determinação da Eficiência Energética do Edifício, para a Fachada Principal Orientada a Sul (Situação Real)	147
Anexo I.1 – Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic}).....	148
Anexo I.2 – Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})	158
Anexo I.3 – Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})	163
Anexo I.4 – Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})	165
ANEXO II - Determinação da Energia Fornecida por Sistemas Colectores Solares para Aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (E_{solar}), Utilizando o Programa SOLTERM	167
ANEXO III - Planta de Localização e Planta do Edifício	171

Índice de Quadros

Quadro I.1.1 – Área dos espaços interiores.....	8
Quadro I.2.1 – Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos.....	9
Quadro I.3.1 – Áreas da Envolvente Exterior.....	10
Quadro I.3.2 – Áreas de envolvente multiplicadas pelos respectivos coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos.....	10
Quadro I.3.3 – Volume interior.....	10
Quadro I.4.1 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior (PE1).....	12
Quadro I.4.2 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Pilar (PE2).....	13
Quadro I.4.3 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Cx. Estore (PE3).....	14
Quadro I.4.4 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Talão da Viga (PE4).....	15
Quadro I.4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede de Meação (PM).....	16
Quadro I.4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Interior (PI).....	16
Quadro I.4.7 – Massa Total do Pavimento Intermédio (PavInt).....	17
Quadro I.4.8 – Coeficiente de Transmissão Térmica do Pavimento Térreo (PavTerr).....	18
Quadro I.4.9 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Cobertura.....	18
Quadro I.4.10 – Coeficiente de Transmissão Térmica do Terraço.....	19
Quadro I.4.11 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Porta de Entrada.....	20
Quadro I.4.12 – Coeficientes de transmissão térmica superficial.....	21
Quadro I.4.13 – Factores solares dos envidraçados.....	21
Quadro I.4.14 – Factores de correcção (r).....	23
Quadro I.4.15 – Cálculo da Inércia Térmica (I _t).....	23
Quadro I.4.16 – Coeficientes de transmissão térmica linear.....	24
Quadro I.4.17 – Coeficiente de transmissão térmica plana.....	26
Quadro I.4.18 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.....	30
Quadro I.4.19 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.....	31
Quadro I.4.20 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.....	32
Quadro I.4.21 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.....	33

Quadro I.5.1 – Necessidades Nominais de Aquecimento	35
Quadro I.6.1 – Necessidades Nominais de Arrefecimento	36
Quadro I.7.1 – Consumos e eficiência (AQS)	39
Quadro I.7.2 – Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária... 39	
Quadro I.8.1 – Necessidades Globais de Energia Primária	41
Quadro II.1.1 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.....	47
Quadro II.1.2 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.....	48
Quadro II.1.3 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.....	49
Quadro II.1.4 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.....	50
Quadro II.1.5 – Necessidades Nominais de Aquecimento	51
Quadro II.1.6 – Necessidades Nominais de Arrefecimento	52
Quadro II.1.7 – Necessidades Globais de Energia Primária	52
Quadro II.1.8 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W	54
Quadro II.1.9 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W	55
Quadro II.1.10 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.....	56
Quadro II.1.11 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.....	57
Quadro II.1.12 – Necessidades Nominais de Aquecimento	58
Quadro II.1.13 – Necessidades Nominais de Arrefecimento	59
Quadro II.1.14 – Necessidades Globais de Energia Primária	59
Quadro II.1.15 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.....	61
Quadro II.1.16 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.....	62
Quadro II.1.17 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W	63
Quadro II.1.18 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W	64
Quadro II.1.19 – Necessidades Nominais de Aquecimento	65
Quadro II.1.20 – Necessidades Nominais de Arrefecimento	66

Quadro II.1.21 – Necessidades Globais de Energia Primária	66
Quadro II.2.1 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.....	67
Quadro II.2.2 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.....	68
Quadro II.2.3 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.....	69
Quadro II.2.4 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.....	69
Quadro II.2.5 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.....	70
Quadro II.2.6 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.....	71
Quadro II.2.7 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte	72
Quadro II.2.8 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte	72
Quadro II.2.9 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.....	73
Quadro II.2.10 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.....	74
Quadro II.2.11 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este	75
Quadro II.2.12 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.....	75
Quadro II.2.13 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W	76
Quadro II.2.14 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W.....	77
Quadro II.2.15 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste	78
Quadro II.2.16 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste	78
Quadro II.3.1 – Áreas dos envidraçados para a fachada principal	79
Quadro II.3.2 – Áreas das paredes exteriores (PE1) de acordo com as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal	79

Quadro II.3.3 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.....	80
Quadro II.3.4 – Eficiência energética para os diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.....	80
Quadro II.3.5 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte	81
Quadro II.3.6 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte	81
Quadro II.3.7 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.....	82
Quadro II.3.8 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.....	82
Quadro II.3.9 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste	83
Quadro II.3.10 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste	83
Quadro II.4.1 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.....	85
Quadro II.4.2 – Coeficiente de transmissão térmica plana.....	85
Quadro II.4.3 – Necessidades nominais com o isolamento de 30mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.....	86
Quadro II.4.4 – Eficiência energética com o isolamento de 30mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.....	86
Quadro II.4.5 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.....	87
Quadro II.4.6 – Coeficiente de transmissão térmica plana.....	87
Quadro II.4.7 – Necessidades nominais com o isolamento de 60mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.....	88
Quadro II.4.8 – Eficiência energética com o isolamento de 60mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.....	88
Quadro II.4.9 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.....	89
Quadro II.4.10 – Necessidades nominais com o isolamento de 40mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.....	90
Quadro II.4.11 – Eficiência energética com o isolamento de 40mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.....	90

Quadro II.4.12 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial	91
Quadro II.4.13 – Necessidades nominais com o isolamento de 80mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.....	92
Quadro II.4.14 – Eficiência energética com o isolamento de 80mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.....	92
Quadro II.5.1 – Factores de correcção (r) _l	97
Quadro II.5.2 – Cálculo da Inércia Térmica (I _t).....	98
Quadro II.5.3 – Coeficientes de transmissão térmica linear	99
Quadro II.5.4 – Necessidades nominais com a classe de Inércia Térmica Média para a fachada principal orientada a Sul.....	101
Quadro II.5.5 – Eficiência energética com a classe de Inércia Térmica Média com a fachada principal orientada a Sul	101
Quadro II.5.6 – Factores solares dos envidraçados	106
Quadro II.5.7 – Factores de correcção (r).....	107
Quadro II.5.8 – Cálculo da Inércia Térmica (I _t).....	107
Quadro II.5.9 – Coeficientes de transmissão térmica linear	108
Quadro II.5.10 – Necessidades nominais com a classe de Inércia Térmica Fraca para a fachada principal na orientada a Sul.....	110
Quadro II.5.11 – Eficiência energética com a classe de Inércia Térmica Fraca para a fachada principal na orientada a Sul.....	110
Quadro III.1.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.....	113
Quadro III.2.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.....	115
Quadro III.2.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte	115
Quadro III.2.3 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.....	116
Quadro III.2.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.....	116
Quadro III.3.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Sul	120
Quadro III.3.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Norte.....	121
Quadro III.3.3 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Este	121

Quadro III.3.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Oeste	122
Quadro III.3.5 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Sul.....	125
Quadro III.3.6 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Norte	125
Quadro III.3.7 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Este.....	125
Quadro III.3.8 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Oeste	125
Quadro III.4.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores para a fachada principal orientada a Sul	129
Quadro III.4.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura para a fachada principal orientada a Sul	130
Quadro III.4.3 – Perdas térmicas do edifício “caso” para a fachada principal orientada a Sul (situação real).....	131
Quadro III.4.4 – Perdas associadas à envolvente exterior para a fachada principal orientada a Sul (situação real)	132
Quadro III.5.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes classes de Inércia Térmica para a fachada principal orientada a Sul.....	134

Índice de Figuras

Figura 1 - Classe de Certificação Energética	3
Figura I.4.1 – Parede Exterior (PE1)	11
Figura I.4.2 – Parede Exterior – Pilar (PE2)	12
Figura I.4.3 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)	13
Figura I.4.4 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)	14
Figura I.4.5 – Parede de Meação (PM)	15
Figura I.4.6 – Parede Interior (PI)	16
Figura I.4.7 – Pavimento Intermédio (PavInt)	17
Figura I.4.8 – Pavimento Térreo (PavTerr)	17
Figura I.4.9 – Cobertura	18
Figura I.4.10 – Terraço	19
Figura I.4.11 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos situados a N e a S	29
Figura I.7.1 – Sistema de preparação de AQS	39
Figura II.1.1 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a N e a S	46
Figura II.1.2 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a E e a W	53
Figura II.1.3 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a E e a W	60
Figura II.5.1 – Parede Exterior (PE1)	93
Figura II.5.2 – Parede Exterior – Pilar (PE2)	94
Figura II.5.3 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)	94
Figura II.5.4 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)	95
Figura II.5.5 – Parede de Meação (PM)	95
Figura II.5.6 – Parede Interior (PI)	95
Figura II.5.7 – Pavimento Intermédio (PavInt)	96
Figura II.5.8 – Pavimento Térreo (PavTerr)	96
Figura II.5.9 – Cobertura	96
Figura II.5.10 – Terraço	97
Figura II.5.11 – Parede Exterior (PE1)	102
Figura II.5.12 – Parede Exterior – Pilar (PE2)	102
Figura II.5.13 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)	103
Figura II.5.14 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)	103
Figura II.5.15 – Parede de Meação (PM)	104
Figura II.5.16 – Parede Interior (PI)	104
Figura II.5.17 – Pavimento Intermédio (PavInt)	105

Figura II.5.18 – Pavimento Térreo (PavTerr)	105
Figura II.5.19 – Cobertura.....	105
Figura II.5.20 – Terraço	106

Índice de Gráficos

Gráfico III.1.1 - Eficiência energética do edifício “caso”, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.....	114
Gráfico III.2.1 - Necessidades nominais de aquecimento (Inverno) do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.....	117
Gráfico III.2.2 - Necessidades nominais de arrefecimento (Verão) do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.....	117
Gráfico III.2.3 - Necessidades globais de energia primária do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções	118
Gráfico III.2.4 - Eficiência energética do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.....	118
Gráfico III.3.1 - Necessidades nominais de aquecimento (Inverno) do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.....	122
Gráfico III.3.2 - Necessidades nominais de arrefecimento (Verão) do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.....	123
Gráfico III.3.3 - Necessidades globais de energia primária do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções	123
Gráfico III.3.4 - Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções	124
Gráfico III.3.5 - Necessidades brutas de aquecimento, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções	126
Gráfico III.3.6 - Ganhos totais úteis, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.....	126
Gráfico III.3.7 - Necessidades de aquecimento, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções	127
Gráfico III.4.1 - Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores para a fachada principal orientada a Sul	129
Gráfico III.4.2 - Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura para a fachada principal orientada a Sul	130

Gráfico III.4.3 - Perdas térmicas do edifício “caso” para a fachada principal orientada a Sul (situação real).....	131
Gráfico III.4.4 - Perdas associadas à envolvente exterior para a fachada principal orientada a Sul (situação real)	132
Gráfico III.4.5 - Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores e diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.....	133
Gráfico III.5.1 - Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes classes de Inércia Térmica para a fachada principal orientada a Sul.....	134

Simbologia

A_p – Área útil do pavimento

FF – Factor de Forma

– Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos

– Condutibilidade térmica

e – Espessura

– Massa volúmica aparente

M – Massa superficial

R_j – Resistência térmica

U_{wdn} – Coeficiente de transmissão térmico médio dia-noite (de um envidraçado vertical)

g_{LV} – factor solar do vidro sem qualquer dispositivo de protecção solar

g'_L – factor solar do vão envidraçado com protecção solar activa a 100%

g_L – Factor solar do envidraçado

U – Coeficiente de transmissão térmica

I_t – Inércia térmica

r – Factor de correcção

M_{si} – Massa superficial útil

S_i – Área do elemento

– Coeficiente de transmissão térmica linear

R_{ph} – Taxa de renovação horária nominal

F_s – Factor de obstrução

F_h – Factor de sombreamento do horizonte

F₀ – Factor de sombreamento por elementos horizontais

F_r – Factor de sombreamento por elementos verticais

X_j – Factor de orientação

F_g – Fração envidraçada

F_w – Factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados

N_{ic} – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

N_i – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

N_{vc} – Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

N_v – Valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

N_{ac} – Necessidades nominais de energia útil para a produção da água quente sanitária

N_a – Valor máximo admissível da energia útil para a preparação da água quente sanitária

E_{solar} – Contribuição de sistemas de colectores solares para a preparação de águas quentes sanitárias

E_{ren} – Contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis

Q_a – Energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de águas quentes sanitárias

η_a – Eficiência de conversão do sistema de preparação de águas quentes sanitárias

M_{AQS} – Consumo médio diário de referência de águas quentes sanitárias

n_d – Número anual de dias de consumo

T – Temperatura

F_{pui} – Factor de conversão entre energia útil e energia primária (aquecimento)

F_{puv} – Factor de conversão entre energia útil e energia primária (arrefecimento)

F_{pua} – Factor de conversão entre energia útil e energia primária (AQS)

η_i – Eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de aquecimento

η_v – Eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de arrefecimento

N_{tc} – Necessidades nominais anuais globais

N_t – Máximo admissível de energia primária



Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Introdução

Com a constante necessidade de reduzir o consumo energético dos edifícios, torna-se importante aplicar as melhores soluções construtivas de acordo com o local onde o edifício se insere, o clima e o fim a que se destina, permitindo a poupança de energia quer no aquecimento quer no arrefecimento do ambiente interior. Esta escolha das melhores soluções construtivas influencia também as condições de conforto no interior do edifício.

O novo **RCCTE** – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto-Lei nº80/2006 de 4 de Abril veio reforçar as exigências de qualidade térmica do anterior regulamento (Decreto-Lei nº40/90 de 6 de Fevereiro), ajudando a reduzir o consumo energético dos edifícios, tendo como principal objectivo a melhoria da eficiência energética dos mesmos, impondo limites em relação às necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente e para a preparação da água quente sanitária e impondo uma melhoria da envolvente dos edifícios, tendo em conta o impacto desta nos consumos para climatização (aquecimento e arrefecimento), assegurando o conforto térmico e a qualidade do ar (ventilação).

Este regulamento em conjunto com o Decreto-Lei nº78/2006 de 4 de Abril, que criou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), veio trazer também algo novo: foi criado um sistema de etiquetagem dos edifícios, que funciona como nos electrodomésticos, ou seja atribui-se uma classe de eficiência energética a cada edifício. A escala vai de A⁺ (classe mais eficiente) a G (classe menos eficiente) e permite conhecer a eficiência energética dos edifícios. A partir de agora, todos os edifícios novos têm de estar etiquetados. Esta etiqueta de desempenho energético está inserida no Certificado Energético, documento que tem a validade máxima de dez anos.

O presente trabalho destina-se essencialmente a fazer uma análise de sensibilidade mais aprofundada da influência de alguns parâmetros geométricos e físicos na eficiência energética de um edifício “caso” situado no concelho de Évora. Os parâmetros considerados foram: diferentes orientações, diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados, diferentes áreas de envidraçado, diferentes espessuras de isolamento e diferentes classes

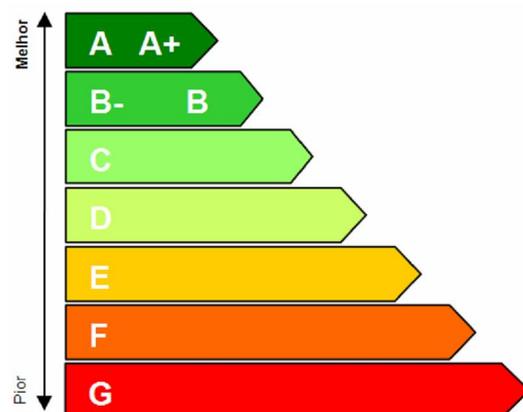


Figura 1 – Classe de Certificação Energética.

de inércia térmica, mantendo constante a zona climática, os sistemas de aquecimento e arrefecimento, bem como as necessidades energéticas do edifício para aquecimento das águas sanitárias. Disponibiliza-se, assim, uma ferramenta de análise simplificada, auxiliando na escolha das soluções construtivas mais adequadas para edifícios que se situem no concelho de Évora e que tenham características semelhantes ao caso estudado, de forma a contribuir para que estes edifícios possuam uma maior eficiência energética.

A organização do trabalho é estruturada em três partes:

- Ø **Parte I:** É efectuada uma caracterização e análise do edifício objecto de estudo na situação real (com a fachada principal orientada a Sul), bem como é estudado o seu comportamento térmico.

- Ø **Parte II:** É apresentado o estudo do comportamento térmico do edifício objecto de estudo para diferentes situações, nomeadamente com:
 - a fachada principal orientada a Sul, Norte, Este e Oeste;
 - diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada nas quatro direcções consideradas;
 - diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas quatro direcções consideradas;
 - diferentes espessuras de isolamento térmico, para a fachada principal orientada a Sul;
 - diferentes classes de inércia térmica, para a fachada principal orientada a Sul.No entanto, na determinação do comportamento térmico do edifício objecto de estudo, são mantidos:
 - a zona climática (I_1 , V_3);
 - os sistemas de aquecimento e arrefecimento;
 - as necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária.

- Ø **Parte III:** É efectuada uma análise de sensibilidade com base nos resultados obtidos no estudo do comportamento térmico do edifício elaborado nas partes I e II.



Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Parte I – Definição do Edifício Objecto de Estudo e
Determinação do seu Comportamento Térmico

Nesta parte efectua-se uma caracterização e análise do edifício “caso” na situação real, com a fachada principal orientada a Sul, sendo determinado o seu comportamento térmico com a aplicação do RCCTE.

I.1. Caracterização da Fracção Autónoma

I.1.1 – Descrição do Edifício

Uso: Habitação unifamiliar

Localização: Zona periférica do concelho de Évora

Envolvente: Com moradias adjacentes a Este e a Oeste e com moradias a Norte e a Sul

Tipologia: Moradia unifamiliar (1 fogo), com 2 pisos, integrada num conjunto de moradias em banda

I.1.2 – Zonamento Climático

Concelho: Évora

Temperatura externa do projecto: 35°C

Amplitude térmica: 17°C

Zona Climática de Inverno: I₁

Zona Climática de Verão: V₃

Graus-dias: 1390 GD (°C. dias)

Duração da estação de aquecimento: 5,7 meses

Temp. média do ar exterior na estação de arrefecimento: 23°C

Altitude: 233 m

Nota: Se a altitude <400m não há correcção das zonas climáticas para regiões do interior

I.1.3 – Caracterização da Fracção Autónoma

Moradia Unifamiliar (Lote 23) – Ver Plantas no Anexo III [11]

Orientação da fachada principal: Sul

Tipologia: T₃

Pé-direito: 2,40m

Instalação de gás: Não. É utilizado um termoacumulador eléctrico.

Ventilação: Considerada natural, apesar de possuir um exaustor na cozinha, o seu contributo não é considerado relevante para a ventilação do edifício, pois é usado de uma forma intermitente.

Espaços Interiores
Quadro I.1.1 – Área dos espaços interiores.

Espaços úteis		Espaços não úteis		Espaços exteriores
Designação	Área (m²)	Designação	Área (m²)	Designação
Hall	1,61	Desvão ventilado não habitado	51,37	Pátio/Estacionamento
W.C.	1,53			Logradouro
Sala	32,83			Terraço
Cozinha	10,68			
Arrumos	1,50			
Vestíbulo	3,34			
Quarto 3	13,27			
Quarto 1	11,92			
Quarto 2	11,06			
Quarto de Banho	3,75			

Área Útil De Pavimento

No cálculo da área útil de pavimento (A_p) foram considerados apenas os espaços úteis da fracção e as respectivas áreas.

$$A_p = 91,49 \text{ m}^2$$

I.2. Coeficiente de Redução das Perdas Térmicas para Locais Não Aquecidos ()

O coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos (), permite calcular as perdas térmicas através do elemento da envolvente interior que separa o espaço útil do espaço não útil.

O valor de determina-se a partir da Tabela IV.1 – Valores do coeficiente [1], em função do tipo de espaço não útil e da relação entre as áreas dos elementos que separam os dois espaços e a dos elementos que separam o espaço não útil do exterior.

Quadro I.2.1 – Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos

Elemento da Envolvente	Tipo de espaço não útil	
Cobertura	Desvão fortemente ventilado (cobertura com telha por cima da laje de esteira)	1 ¹
Parede de Meação	Edifício adjacente (Este)	0,6
Parede de Meação	Edifício adjacente (Oeste)	0,6

¹ Como >0,7 consideram-se os requisitos da envolvente exterior do Quadro IX.1 do RCCTE

I.3. Factor de Forma

O Factor de Forma é o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext} – Quadro I.3.1) e interior (A_{int} – Quadro I.3.2) do edifício ou fracção autónoma, multiplicando estas últimas pelos respectivos coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos (τ), e o respectivo volume interior (V – Quadro I.3.3) correspondente, conforme a equação (I.3.1):

$$FF = \frac{(\sum A_{ext}) + \sum (\tau \cdot A_{int})_i}{V} \quad (I.3.1)$$

Quadro I.3.1 – Áreas da Envolvente Exterior.

Elementos Exteriores	A_{ext} [m ²]
Paredes	55,29
Coberturas	54,65
Pavimentos	0
Terraço	3,15
Envidraçados	14,23
Total:	127,32

Quadro I.3.2 – Áreas de envolvente multiplicadas pelos respectivos coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não-aquecidos.

Elementos Interiores	A_{int} [m ²]		* A_{int}
Cobertura (Laje de esteira)	51,37	1	51,37
Parede de Meação (Este)	41,7	0,6	25,02
Parede de Meação (Oeste)	39,1	0,6	23,46
Total:			99,85

Quadro I.3.3 – Volume interior

A_{util} [m ²]	P_d [m]	V [m ³]
91,49	2,40	219,58

Aplicando a equação (I.3.1), determina-se o factor forma (FF) que, para a moradia unifamiliar, apresenta um valor de 1,03m⁻¹.

$$FF = \frac{127,32 + 99,85}{219,58} = 1,03 [m^{-1}]$$

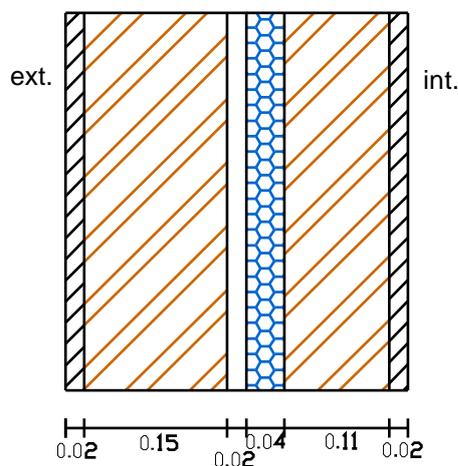
I.4. Caracterização Térmica das Soluções Construtivas

O controle dos ganhos e das perdas de calor do edifício, devido ou não à radiação solar, é necessário para garantir um melhor conforto térmico do espaço habitado, para o que é importante a escolha dos materiais, das soluções arquitectónicas e das soluções construtivas. O regulamento (RCCTE) pretende contribuir para impedir que ocorram trocas térmicas excessivas, através da escolha de soluções que contribuam para um mais efectivo conforto térmico e que evitem a ocorrência de condensações e consequente degradação do edifício e da sua salubridade.

I.4.1 – Soluções Construtivas

Nos quadros que se seguem está presente a caracterização das propriedades térmicas de cada uma das soluções construtivas da fracção autónoma em estudo. Os valores apresentados nos Quadros I.4.1, I.4.2, I.4.3, I.4.4, I.4.5, I.4.6, I.4.7, I.4.8, I.4.9, I.4.10, I.4.11, I.4.12 e I.4.13 foram retirados e/ou calculados com base nas publicações [1] e [2]. Para uma melhor caracterização das soluções construtivas são apresentadas as Figuras I.4.1, I.4.2, I.4.3, I.4.4, I.4.5, I.4.6, I.4.7, I.4.8, I.4.9 e I.4.10.

Ø Parede Exterior (PE1)



- Dois panos de alvenaria de tijolo furado normal, com 0,15m no pano exterior e 0,11m no pano interior.
- Caixa-de-ar com 0,06m de espessura, parcialmente preenchida com isolamento térmico.
- Isolamento em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) de 0,04m de espessura.
- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.

Figura I.4.1 – Parede Exterior (PE1)

Quadro I.4.1 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior (PE1).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Tijolo 15		0,150	2000	40	0,02
Cx. de ar		0,020	1,2	0,024	0,39 ²
Isolamento XPS	0,037	0,040	40	1,6	1,08
Tijolo 11		0,110	1000	110	0,27 ⁴
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ⁵
Rse - Resistência térmica superficial exterior (fluxo horizontal)					0,04 ⁶
Totais:				152	2,11

$$U_{PE1} = 1/R = 1/ 2,11 = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})^7$$

Ø Parede Exterior (PE2) – Pilar (Ponte térmica plana)

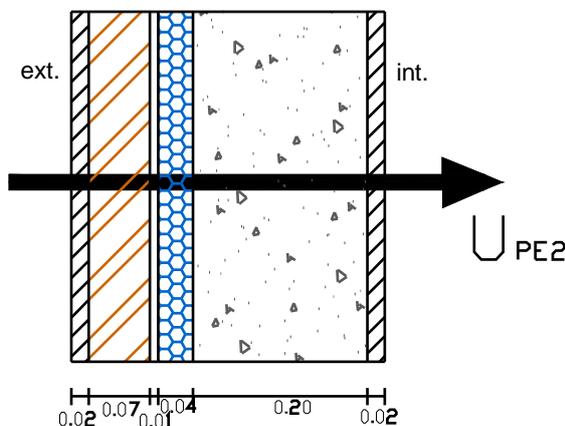


Figura I.4.2 – Parede Exterior – Pilar (PE2)

- Pilar de betão armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Tijolo furado normal de 0,07m no pano exterior.
- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- Caixa-de-ar com 0,05m de espessura, parcialmente preenchida com isolamento térmico.
- Isolamento na caixa-de-ar em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura.

² ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

³ ITE 50, Quadro I.4, LNEC [2]

⁴ ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

⁵ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

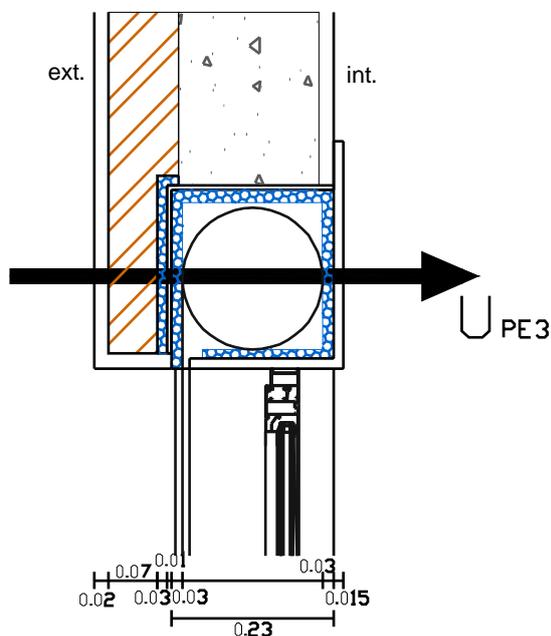
⁶ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

⁷ ITE 50, Quadro II.6, LNEC [2]

Quadro I.4.2 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Pilar (PE2).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
Tijolo 7		0,070	1000	70	0,19 ⁸
Cx. de ar		0,010	1,2	0,012	0,15 ⁹
Isolamento XPS	0,037	0,040	40	1,6	1,08
Pilar de Betão	2,000	0,200	2400	480	0,10
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
R _{si} - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ¹⁰
R _{se} - Resistência térmica superficial exterior (fluxo horizontal)					0,04 ¹¹
Totais:				522	1,72

$$U_{PE2} = 1/R = 1/ 1,72 = 0,58 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})$$

Ø Parede Exterior (PE3) – Caixa de Estore (Ponte térmica plana)


- Caixa de estore com 0,23m de largura, constituída por uma caixa em poliestireno expandido extrudido (XPS) com paredes de 0,03m de espessura.
- No pano exterior possui 0,03m de poliestireno expandido extrudido, tijolo furado normal de 0,07m rebocado com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- No pano interior a caixa de estore possui uma forra em madeira com 0,015m de espessura.

Figura I.4.3 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)
⁸ ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

⁹ ITE 50, Quadro I.4, LNEC [2]

¹⁰ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

¹¹ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

Quadro I.4.3 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Cx. Estore (PE3).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Caixa XPS	0,037	0,030	40	1,2	0,81
Forra Madeira (densa)	0,230	0,015	750	11,25	0,07
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ¹²
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ¹³
Totais:				12	1,14

$$U_{PE3} = 1/R = 1/ 1,14 = 0,88 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})^{14}$$

Ø Parede Exterior (PE4) – Talão da Viga (Ponte térmica plana)

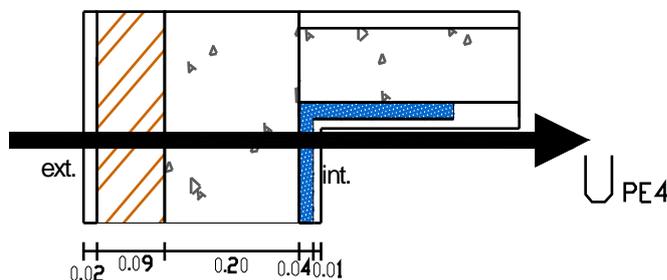


Figura I.4.4 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)

- Reboco na face interior com uma argamassa de 0,01m de espessura.
- Isolamento no pano interior em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura.
- Talão da viga de Betão Armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Tijolo furado normal de 0,09m no pano exterior.
- Reboco na face exterior com uma argamassa de 0,02m de espessura.

¹² Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

¹³ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

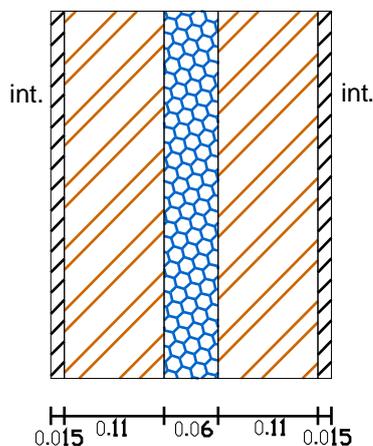
¹⁴ O Coeficiente de Transmissão térmica é só calculado para a parte interior da caixa de estore.

Quadro I.4.4 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Exterior – Talão da Viga (PE4).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
Tijolo 9		0,090	1000	90	0,23 ¹⁵
Pilar de Betão	2,000	0,200	2400	480	0,10
Isolamento XPS	0,037	0,040	40	1,6	1,08
Reboco	1,300	0,010	2000	20	0,01
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ¹⁶
Rse - Resistência térmica superficial exterior (fluxo horizontal)					0,04 ¹⁷
Totais:				22	1,60

$$U_{PE4} = 1/R = 1/ 1,60 = 0,62 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{°C})$$

Ø Parede de separação de fracções autónomas – Parede de Meação (PM)



- Dois panos de tijolo furado normal de 0,11m (0,11m + 0,11m).
- Caixa-de-ar de 0,06m de largura, totalmente preenchida a lã de rocha.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

Figura I.4.5 – Parede de Meação (PM)

¹⁵ ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

¹⁶ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

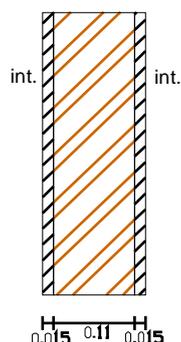
¹⁷ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

Quadro I.4.5 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede de Meação (PM).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Reboco	1,300	0,015	2000	30	0,01
Tijolo 11		0,110	1000	110	0,27 ¹⁸
Lã de rocha (MW)	0,040	0,060	100	6	1,50
Tijolo 11		0,110	1000	110	0,27 ¹⁹
Reboco	1,300	0,015	2000	30	0,01
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo horizontal)					0,13 ²⁰
Rse - Resistência térmica superficial exterior (fluxo horizontal)					0,13 ²¹
Totais:				286,0	2,32

$$U_{PM} = 1/R = 1/ 2,32 = 0,43 \text{ W/(m}^2\text{.°C)}$$

Ø Parede Interior da fracção autónoma (PI)



- Pano de alvenaria de tijolo furado normal com 0,11m de largura.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

Figura I.4.6 – Parede Interior (PI)
Quadro I.4.6 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Parede Interior (PI).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²
Reboco	1,300	0,015	2000	30
Tijolo 11		0,110	1000	110
Reboco	1,300	0,015	2000	30
Totais:				170,0

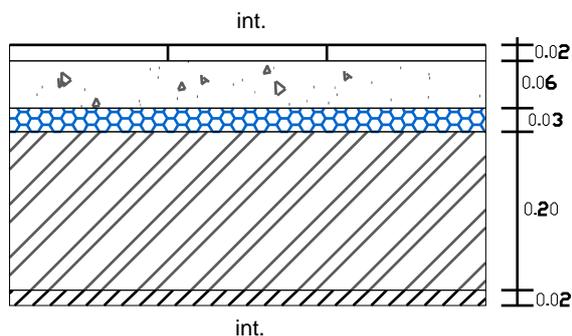
¹⁸ ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

¹⁹ ITE 50, Quadro I.5, LNEC [2]

²⁰ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

²¹ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

Ø Pavimento Intermédio (PavInt)



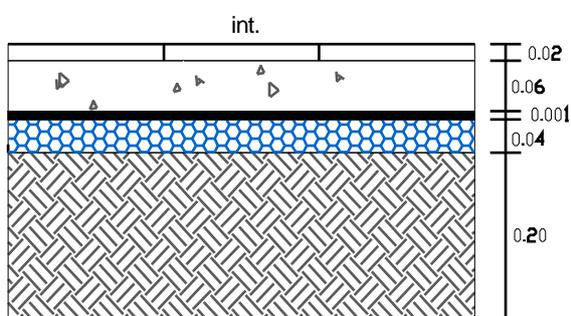
- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Isolamento térmico em lã de rocha com 0,03m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Figura I.4.7 – Pavimento Intermédio (PavInt)

Quadro I.4.7 – Massa Total do Pavimento Intermédio (PavInt).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²
Grés Cerâmico	1,300	0,020	2000	40
Betonilha	1,300	0,060	1800	108
Lã de Rocha	0,042	0,030	40	1,2
Laje de Betão	2,000	0,200	2400	480
Reboco	1,300	0,020	2000	40
Total:				669

Ø Pavimento Térreo (PavTerr)



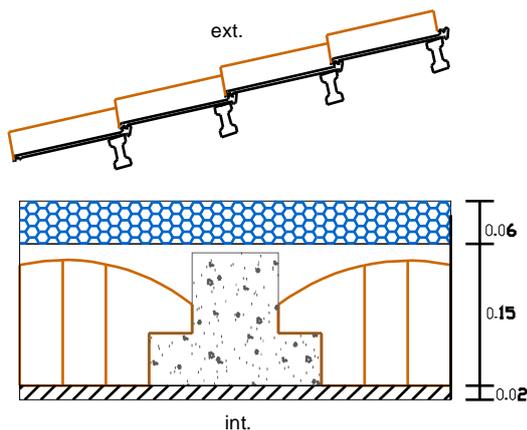
- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,04m de espessura.
- Brita com 0,20m de espessura.

Figura I.4.8 – Pavimento Térreo (PavTerr)

Quadro I.4.8 – Coeficiente de Transmissão Térmica do Pavimento Térreo (PavTerr).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²
Grés Cerâmico	1,300	0,020	2000	40
Betonilha	1,300	0,060	1800	108
Impermeabilizante	0,140	0,001	1200	12
Lã de Rocha	0,042	0,040	100	4
Brita	2,000	0,200	2200	440
Totais:				160

Ø Cobertura



- Telha assente sobre uma estrutura de suporte.
- Desvão ventilado não habitado.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Esteira horizontal em laje aligeirada com 0,15m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Figura I.4.9 – Cobertura
Quadro I.4.9 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Cobertura (Fluxo Ascendente).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Lã de Rocha	0,040	0,060	100	6	1,50
Laje Aligeirada		0,150	1000	150	0,13 ²²
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
R _{si} - Resistência térmica superficial interior (fluxo vertical)					0,10 ²³
R _{se} - Resistência térmica superficial exterior (fluxo vertical)					0,10 ²⁴
Totais:				196	1,85

$$U_{\text{Cobertura}} (\text{Fluxo Ascendente}) = 1/R = 1/ 1,85 = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{°C})^{25}$$

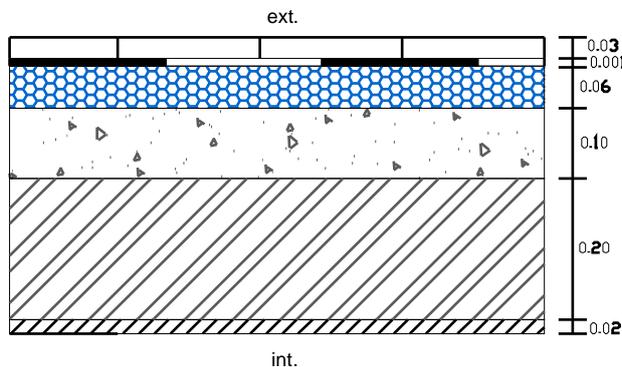
²² ITE 50, Quadro I.7, LNEC [2] – Base dos Blocos de 0,30m, Altura Total do Pavimento de 0,15m e N^o de Furos 2

²³ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

²⁴ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

²⁵ ITE 50, Quadro II.19, LNEC [2]

Ø Terraço


Figura I.4.10 – Terraço

- Protecção exterior em grés cerâmico com 0,03m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Camada de forma (betão leve) com 0,10m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Quadro I.4.10 – Coeficiente de Transmissão Térmica do Terraço (Fluxo Ascendente).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _j (m ² .°C)/W
Grés Cerâmico	1,300	0,030	2000	60	0,02
Impermeabilizante	0,140	0,001	1200	1,2	0,01
Lã de Rocha	0,042	0,060	100	6	1,43
Betão Leve	1,300	0,100	1800	180	0,08
Laje de Betão	2,000	0,200	2400	480	0,10
Reboco	1,300	0,020	2000	40	0,02
R _{si} - Resistência térmica superficial interior (fluxo vertical)					0,10 ²⁶
R _{se} - Resistência térmica superficial exterior (fluxo vertical)					0,04 ²⁷
Totais:				700	1,79

$$U_{\text{Terraço}} (\text{Fluxo Ascendente}) = 0,49 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{28}$$

²⁶ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

²⁷ Anexo VII – Quadro VII.1, RCCTE [1]

²⁸ ITE 50, Quadro II.14, LNEC [2]

Ø Porta de Entrada

Porta em madeira maciça com área de 1,7m².

Quadro I.4.11 – Coeficiente de Transmissão Térmica da Porta de Entrada.

Camada	W/(m.°C)	e (m)	kg/m ³	M kg/m ²	R _i (m ² .°C)/W
Madeira Maciça Densa	0,230	0,035	750	26,25	0,15
Rsi - Resistência térmica superficial interior (fluxo vertical)					0,13
Rse - Resistência térmica superficial exterior (fluxo vertical)					0,04
Totais:				26	0,32

$$U_{\text{Porta}} = 1/R = 1/0,32 = 3,10 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$$

Ø Vãos Envidraçados

- **Envidraçado E1:** Quarto 1, Quarto 2, Quarto 3, Quarto 3 (do terraço) e Cozinha

- Caixilharia: Caixilharia de alumínio.

- Vidro: Vidro duplo incolor de 6 e 4mm, com uma caixa-de-ar de 6mm.

- Sombreamento: Lâminas metálicas exteriores fixas, com elevada permeabilidade ao ar e cor branca.

- Tipo de janela: Giratória

$$U_{\text{wdn}} = 3,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}^{29}$$

$$g_{\perp v} = 0,78^{30}$$

$$g'_{\perp} = 0,09^{31}$$

- **Envidraçado E2:** Sala(Norte) e Sala(Sul)

- Caixilharia: Caixilharia de alumínio.

- Vidro: Vidro duplo incolor de 6 e 4mm, com uma caixa-de-ar de 6mm.

- Sombreamento: Lâminas metálicas exteriores fixas, com elevada permeabilidade ao ar e cor branca.

- Tipo de janela: De correr.

$$U_{\text{wdn}} = 3,6 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}^{32}$$

$$g_{\perp v} = 0,78^{33}$$

$$g'_{\perp} = 0,09^{34}$$

²⁹ ITE 50, Quadro III.2, LNEC [2]

³⁰ Anexo IV – Tabela IV.4.1, RCCTE [1]

³¹ Anexo V – Quadro V.4, RCCTE [1]

³² ITE 50, Quadro III.2, LNEC [2]

³³ Anexo IV – Tabela IV.4.1, RCCTE [1]

³⁴ Anexo V – Quadro V.4, RCCTE [1]

I.4.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3)

Ø Coeficientes de Transmissão Térmica Superficial

Quadro I.4.12 – Coeficientes de transmissão térmica superficial.

Elemento	U [W/(m ² .°C)]	Umáx. [W/(m ² .°C)]	Situação
PE1	0,47	1,8	ok
PE2	0,58	min(0,47*2;1,80)	ok
PE3	0,88	min(0,47*2;1,80)	ok
PE4	0,62	min(0,47*2;1,80)	ok
PM	0,43	2	ok
Cobertura	0,54	1,25	ok
Terraço	0,49	1,25	ok
Porta de Entrada	3,10	s/req.	-
E1	3,40	s/req.	-
E2	3,60	s/req.	-

Ø Factores Solares dos Envidraçados

Quadro I.4.13 – Factores solares dos envidraçados.

Elemento	g	g _{máx}	Situação
E1	0,3 ³⁵	0,5 ³⁶	ok
E2	0,3 ³⁷	0,5 ³⁸	ok

Todos os vão envidraçados têm mais de 5% da área útil do espaço que servem, pelo que o g_{máx} é em função da Inércia Térmica. Ao que se conclui que para uma inércia forte os factores solares dos vão envidraçados cumprem o regulamento.

³⁵ Valor calculado pelo ponto I.4.5.1 deste trabalho

³⁶ Anexo IX – Quadro IX.2, RCCTE [1]

³⁷ Valor calculado pelo ponto I.4.5.1 deste trabalho

³⁸ Anexo IX – Quadro IX.2, RCCTE [1]

I.4.3 – Inércia Térmica (I_t,V3)

A **Inércia Térmica** diz respeito à maior ou menor capacidade que o edifício tem de amortecer e atrasar o efeito da onda de calor a que é sujeito.

A classe de inércia térmica define-se em função da massa superficial útil por metro quadrado da área de pavimento, I_t, calculada pela seguinte equação [1]:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad (I.4.2)$$

onde, M_{si} é a massa superficial útil do elemento i (kg/m²), r o factor de correcção, S_i a área do elemento i (m²) e A_p a área útil do pavimento (m²).

O **Factor de Correcção**, r (Quadro I.4.16) depende da localização do elemento considerado e da resistência térmica (R) do seu revestimento:

- Elemento das envolventes exterior ou interior:

$$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad r=1,0$$

$$0,14 < R \leq 0,30 \quad r=0,5$$

$$R > 0,30 \quad r=0,0$$

- Elemento de compartimentação interior (parede ou pavimento interior) da fracção autónoma:

$$R \leq 0,14 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad r=1,0$$

$$0,14 < R \leq 0,30 \text{ numa das faces do elemento} \quad r=0,75$$

$$0,14 < R \leq 0,30 \text{ em ambas as faces do elemento} \quad r=0,5$$

$$R > 0,30 \quad r=0,0$$

A **Massa Superficial Útil**, M_{si} (Quadro I.4.17), de cada elemento interveniente na inércia térmica é função do posicionamento do isolamento térmico, podendo sintetizar-se os seguintes casos:

- Elementos da envolvente exterior – metade da sua massa, ou a massa situada do lado interior do isolamento, nunca podendo ser superior a 150 kg/m²;
- Elemento em contacto com o solo – considera-se 150 kg/m² no caso de elementos que possuam isolamento térmico, caso contrário toma-se em consideração a massa situada do lado interior do isolamento térmico com um máximo de 150 kg/m².
- Elementos interiores – a massa total nunca podendo ser superior a 300 kg/m².

Quadro I.4.14 – Factores de correcção (r).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	R _j (m ² .°C)/W	r
Reboco (PE1; PE2; PavInt)	1,3	0,02	0,02	1
Isolamento XPS + forra de madeira (PE3)		0,045	0,88	0
Isolamento XPS + Reboco (PE4)		0,06	1,10	0
Reboco (PI; PM)	1,3	0,015	0,01	1
Grés Cerâmico (PavInt;PavTerr)	1,3	0,02	0,02	1
Grés Cerâmico (Terraço)	1,3	0,03	0,02	1
Telha (Cobertura)	0,34	0,011	0,03	1

Quadro I.4.15 – Cálculo da Inércia Térmica (I_t).

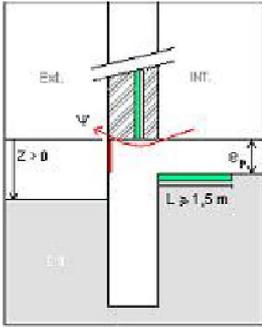
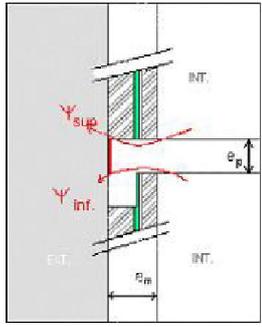
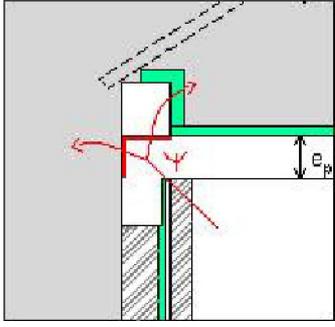
Elemento	M [kg/m ²]	Mmáx. [kg/m ²]	Msi [kg/m ²]	Si [m ²]	r	Msi*r*Si [kg]
PE1	152	150	150	39,69	1	5954
PE2	522	150	150	3,36	1	504
PE3	12	150	12	2,16	0	0
PE4	22	150	22	10,08	0	0
PM	286	150	150	80,80	1	12120
PI	170	300	170	56,90	1	9673
PavInt	669	300	300	43,34	1	13002
PavTerr	160	150	150	48,15	1	7223
Cobertura	196	150	150	54,65	1	8198
Terraço	700	150	150	3,15	1	473
Total:						57145
						/
Área útil do pavimento, A _p (m ²)						91,49
						=
Massa Superficial útil por m ² de área de pavimento, I _t (kg/m ²)						624,6
						Inércia Forte³⁹

³⁹ Anexo VII – Quadro VII.6, RCCTE [1]

I.4.4 – Perdas Térmicas

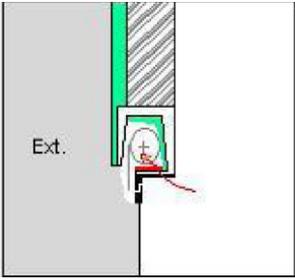
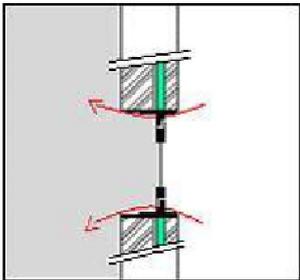
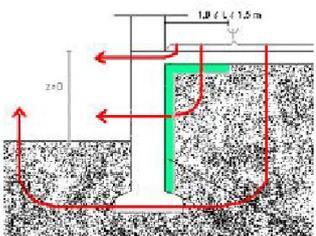
I.4.4.1 – Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)

Quadro I.4.16 – Coeficientes de transmissão térmica linear.

Descrição		40 (W/m.°C)
<p>Ligação da fachada com pavimentos térreos, em que o isolamento se encontra na caixa-de-ar das paredes duplas.</p> <p>($0 < z < 0,40\text{m}$ e $e_p = 0,25\text{m}$).</p>		0,60
<p>Ligação da fachada com pavimentos intermédios, com isolamento na caixa-de-ar das paredes duplas.</p> <p>($e_m > 0,30\text{m}$ e $e_p = 0,20\text{m}$).</p>		0,20
<p>Ligação da fachada com cobertura inclinada, com isolamento na caixa-de-ar da parede de fachada e isolamento pelo exterior da cobertura.</p> <p>($e_p = 0,15\text{m}$)</p>		0,50

⁴⁰ Todos os valores de foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

Quadro I.4.16 – Coeficientes de transmissão térmica linear (Continuação).

Descrição		⁴¹ (W/m.°C)
Ligação da fachada com caixa de estore, com isolante pelo exterior. Em que a caixa de estore é isolada com 30mm de poliestireno expandido extrudido ($R > 0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$).		0,00
Ligação fachada com padieira, ombreira ou peitoril, com isolante na caixa-de-ar das paredes duplas. ⁴²		0,00
Pavimento em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral. ($0,05\text{m} < z < 0,150\text{m}$ e $R \geq 0,5$)		1,80

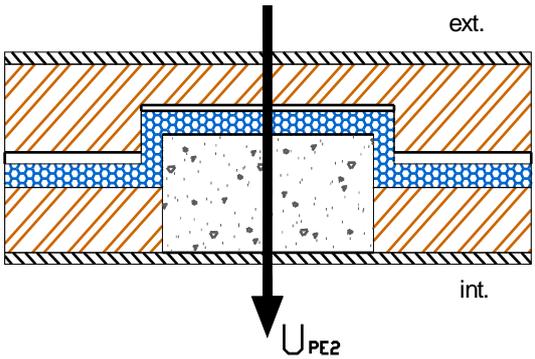
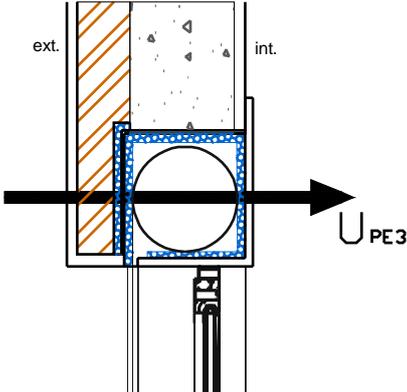
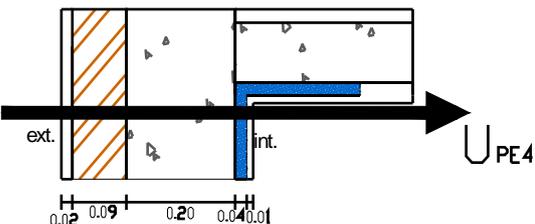
⁴¹ Todos os valores de ψ foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

⁴² Em paredes duplas considera-se que há continuidade do isolante térmico quando este for complanar com a caixilharia.

I.4.4.2 – Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)

Ponte térmica plana é a heterogeneidade inserida em zona corrente da envolvente, como é o caso de pilares, caixa de estore e talões de vigas [1]. O quadro I.4.19 representa esquematicamente os pormenores construtivos das pontes térmicas planas e os respectivos coeficientes de transmissão térmica⁴³.

Quadro I.4.17 – Coeficiente de transmissão térmica plana.

Descrição	U (W/m ² .°C)
<p>Parede Exterior – Pilar (PE2)</p> 	0,58
<p>Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)</p> 	0,88
<p>Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)</p> 	0,62

⁴³ O cálculo dos coeficientes de transmissão térmica dos pormenores construtivos das pontes térmicas planas encontram-se no ponto I.4.1.

I.4.4.3 – Perdas Térmicas por Ventilação

Ø Taxa de Renovação Horária Nominal

A entrada e saída de ar é feita por ventilação natural, pois o único dispositivo de ventilação mecânica no edifício é o exaustor da cozinha, e este só funciona normalmente durante períodos curtos. [1]

Neste caso, a taxa de renovação nominal (R_{ph}) é determinada de acordo com o quadro IV.1 – Valores convencionais de R_{ph} para edifícios de habitação [1], em função da exposição ao vento das fachadas do edifício e da permeabilidade ao ar da sua envolvente.

Como o edifício não está em conformidade com a NP 1037 – 1, para a determinação da taxa nominal de renovação do ar e como as caixilharias não estão classificadas quanto à permeabilidade ao ar, estas são consideradas sem classificação. Além disso, sendo a exposição ao vento das fachadas da classe 2⁴⁴, sem dispositivos de admissão na fachada e com caixa de estores, o valor de R_{ph} é de 1,05 h⁻¹. Como a área de vãos envidraçados é superior a 15% da área útil do pavimento o valor do R_{ph} é agravado de 0,10 e como todas as portas do edifício estão bem vedadas por aplicação de borrachas em todo o seu perímetro e por o edifício ser não conforme com a NP 1037 – 1, o valor do R_{ph} é diminuído de 0,05. Fica-se então com um valor final de R_{ph} igual a 1,10 h⁻¹.

⁴⁴ O edifício tem uma altura acima do solo menor que 10m, está inserido na região A, com uma rugosidade II (edifícios situados na periferia de uma zona urbana), Quadro IV.2 – Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da fracção autónoma. [1]

I.4.5 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Os factores solares dos vãos envidraçados são determinados de acordo com a metodologia indicada no regulamento para as estações de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão) para cada tipo de vão. Neste estudo “caso” os vãos envidraçados encontram-se orientados segundo as direcções N e S (Sala, Cozinha e Quartos).

I.4.5.1 – Factor Solar do Vão Envidraçado (g_{\perp})

§ Estação de Aquecimento (Inverno)

Para o factor solar dos vãos envidraçados das direcções N e S (Sala, Cozinha e Quartos), na estação de aquecimento (Inverno), admite-se que os estores exteriores que protegem os vãos se encontram geralmente abertos durante o dia para otimizar a captação de ganhos solares e que todos os vãos envidraçados estão protegidos pelo menos com cortinas interiores muito transparentes de cor clara, durante toda a estação de aquecimento.

Para estes vãos é adoptado para o factor solar g_{\perp} , o valor de 0.63 (vidro duplo incolor, Anexo IV, n.º 4.3.2 [1]).

§ Estação de Arrefecimento (Verão)

Na estação de arrefecimento (Verão) o regulamento prevê que, o factor solar do vão envidraçado seja obtido pela seguinte soma ponderada:

$$g_{\perp} = 0.70g'_{\perp} + 0.3g_{\perp v} \quad (I.4.1)$$

onde, g'_{\perp} é o factor solar do vão envidraçado com protecção solar activa a 100% e vidro incolor corrente e que $g_{\perp v}$ é o factor solar do vidro sem qualquer dispositivo de protecção solar.

Assim para vãos envidraçados E1 e E2: $g_{\perp v} = 0,78^{45}$ e $g'_{\perp} = 0,09^{46}$

Aplicando a equação I.4.1 o factor solar do vão envidraçado E1 e E2 é:
 $g_{\perp} = (0,7 \cdot 0,09) + (0,3 \cdot 0,78) = 0,3$

⁴⁵ Anexo IV – Tabela IV.4.1, RCCTE [1]

⁴⁶ Anexo V – Quadro V.4, RCCTE [1]

I.4.5.2 – Factor de Obstrução (F_s)

O factor de obstrução (F_s) representa a redução da radiação solar incidente no vão do envidraçado devido ao sombreamento permanente causado pelas obstruções exteriores ao edifício ou com origem em elementos do próprio edifício, sendo que o factor de obstrução é igual ao produto dos factores de sombreamento do horizonte por obstruções exteriores ao edifício (F_h), por elementos horizontais (F_o) e por elementos verticais (F_v).

O efeito do sombreamento de obstruções longínquas exteriores ao edifício ou por outros elementos do edifício depende do ângulo do horizonte (α), sendo este definido, de acordo com o regulamento, como o ângulo entre o plano horizontal e a recta que passa pelo centro do envidraçado e pelo ponto mais alto da maior obstrução existente entre dois planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal aos envidraçados. Na figura I.4.11 é apresentada a planta de implantação do Lote 23 (edifício estudo) indicando as obstruções a considerar no cálculo do ângulo do horizonte dos vãos envidraçados, pelo que os vãos orientados a N e a S são sombreados pelo conjunto de edifícios A e B, respectivamente.

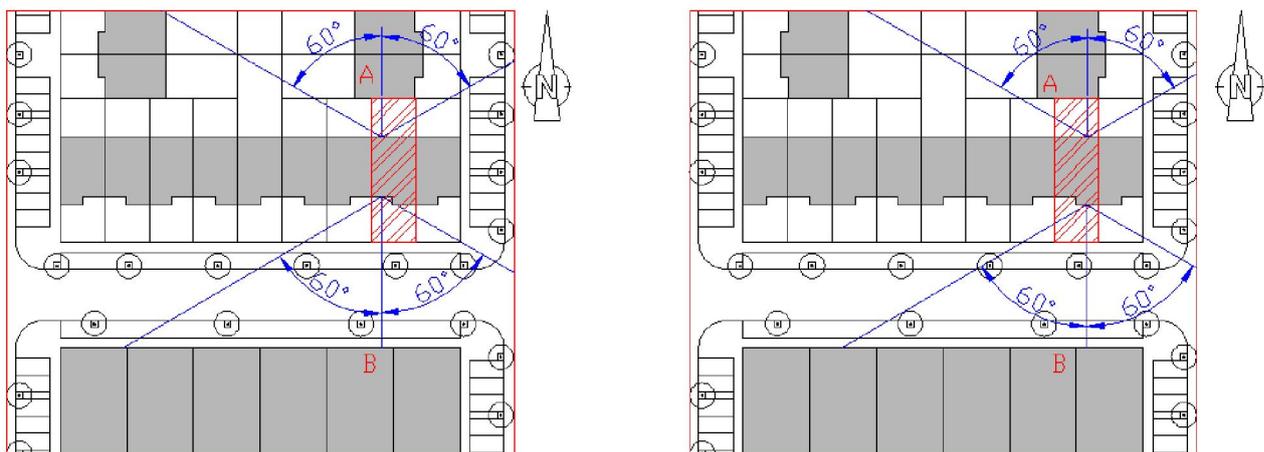
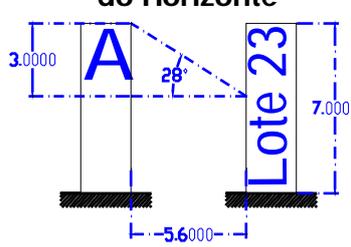
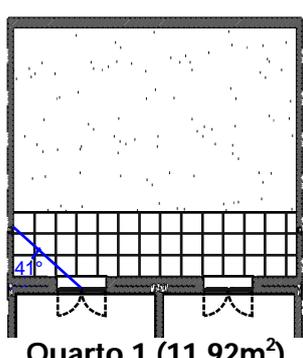
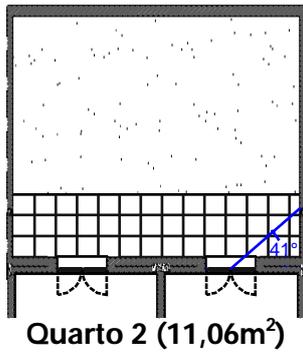


Figura I.4.11 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos situados a N e a S.

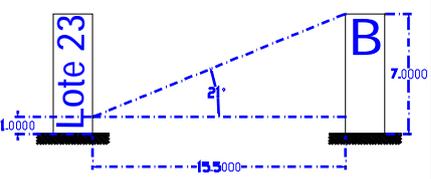
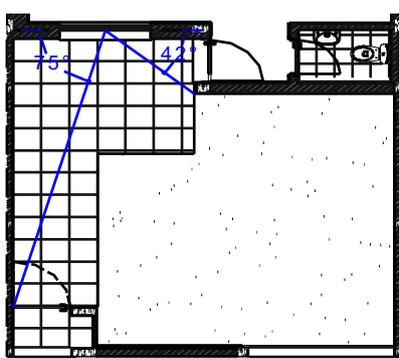
Quadro I.4.18 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.

Piso 0 Direcção N		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=47^\circ$ $F_h=1,00$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais 	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=1,00$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=1,00$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$

Quadro I.4.19 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.

Piso 1 Direcção N		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=28^\circ$ $F_h=1,00$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Quarto 1 (11,92m ²)  Quarto 2 (11,06m ²)	Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=1,00$	Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=1,00$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$

Quadro I.4.20 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.

Piso 0 Direcção S		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=21^\circ$ $F_h=0,88$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Sala (32,83 m ²)	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,65$ $=42^\circ$ $F_f=0,78$ $F_f=0,51^{47}$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,67$ $=42^\circ$ $F_f=0,76$ $F_f=0,51$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,88 \times 1,00 \times 0,51 = 0,45$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,51 = 0,51$

⁴⁷ No caso de um envidraçado com duas palas laterais de comprimentos diferentes, o ângulo (beta) de cada pala vertical, medido a partir do ponto médio do vão envidraçado, será distinto para cada uma das palas. O valor de F_f aplicável aos vãos deverá então ser o produto dos dois valores de F_f determinados (um para cada pala, com base no correspondente valor do ângulo Beta).

Quadro I.4.21 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.

Piso 1 Direcção S		
	Inverno	Verão
<p style="text-align: center;">F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p>	<p>Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=11^\circ$ $F_h=0,96$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p style="text-align: center;">F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p style="text-align: center;">F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p> <p style="text-align: center;">Quarto 3 (13,27m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=0,89$ F_f (Terraço) =0,78</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=0,88$ F_f (Terraço) =0,76</p>
<p style="text-align: center;">F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>$F_s = 0,96 \times 1,00 \times 0,89 = 0,85$ F_s (T) = $0,96 \times 1,00 \times 0,78 = 0,75$</p>	<p>$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,88 = 0,88$ F_s (T) = $1,00 \times 1,00 \times 0,76 = 0,76$</p>

I.4.5.3 – Factor de Orientação (X_j)

O factor de orientação X_j , para as orientações N e S é igual a 0,27 e a 1, respectivamente (Anexo IV, Quadro IV.4, [1]).

I.4.5.4 – Fracção Envidraçada (F_g)

Para os vãos envidraçados com caixilharia de alumínio sem quadrícula, a fracção envidraçada corresponde a 0,70 (Anexo IV, Quadro IV.5, [1]).

I.4.5.5 – Factor de Correção da Selectividade Angular dos Envidraçados (F_w)

§ Estação de Aquecimento (Inverno)

O factor de correção da selectividade angular F_w , na estação de aquecimento, tem o valor de 0,90 para os vidros corrente duplos (Anexo IV, ponto 4.3.5, [1]).

§ Estação de Arrefecimento (Verão)

De acordo com o quadro V.3 do Anexo V do RCCTE [1], em função da orientação e do tipo de vidro (simples ou duplo), fica definido o valor do factor de correção da selectividade angular dos envidraçados para situação de Verão.

O factor de correção da selectividade angular F_w , na estação de arrefecimento, para vidro duplo e para as orientações N e S é igual a 0,80 e a 0,75, respectivamente.

Em nenhum caso o produto $X_j * F_h * F_o * F_f$ deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado que todos os vãos envidraçados cumprem este critério.

I.5. Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic})

De acordo com o regulamento as necessidades nominais de aquecimento são a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência (20°C) durante a estação de aquecimento.

As **necessidades nominais de energia útil para aquecimento, N_{ic}** , em resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta os ganhos térmicos solares e internos, não podem exceder o **valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i** :

$$N_{ic} \leq N_i \quad (1.5.1)$$

As necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) são calculadas pela seguinte equação:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \quad (1.5.2)$$

onde, Q_t são as perdas de calor por condução através da envolvente do edifício, Q_v as perdas de calor resultantes da renovação de ar, Q_{gu} os ganhos de calor úteis resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados e A_p a área útil de pavimento.

O valor limite das necessidades nominais de aquecimento (N_i) de uma fracção autónoma, depende dos valores do factor de forma (FF) da fracção autónoma e dos graus-dias (GD) do clima local e determina-se de acordo com o nº1 do Artigo 15º [1], onde para o nosso caso utiliza-se a seguinte expressão:

$$1 < FF \leq 1,5 \quad N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF)GD](1,2 - 0,2FF) \quad (1.5.3)$$

Estes parâmetros N_{ic} e N_i são determinados com o auxílio das folhas de cálculo, presentes no regulamento, FCIV.1a a FCIV.1f e FCIV.2 para a estação de aquecimento (*ver Anexo I.1*). No quadro I.5.1 é indicado o valor das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e o valor limite destas (N_i) para o edifício em estudo:

Quadro I.5.1 – Necessidades Nominais de Aquecimento.

N_{ic} (kWh/m².ano)	69,27
N_i (kWh/m².ano)	86,30

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de aquecimento, com uma razão de 80,3% (N_{ic} / N_i).

I.6. Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})

De acordo com o regulamento as necessidades nominais de arrefecimento são a energia útil que é necessário fornecer à fracção autónoma para manter no seu interior a temperatura de referência (25°C) durante a estação de arrefecimento.

As **necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, N_{vc}** , em resultado da sua morfologia, da qualidade térmica da sua envolvente e tendo em conta a existência de ganhos térmicos solares e internos, não pode exceder o **valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v** :

$$N_{vc} \leq N_v \quad (I.6.1)$$

As necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) são calculadas pela seguinte equação:

$$N_{vc} = \frac{Q_g \times (1 - \eta)}{A_p} \quad (I.6.2)$$

onde, Q_g são os ganhos totais brutos do edifício ou fracção autónoma, η é factor de utilização dos ganhos (n.º4.4 do Anexo IV, [1]) e A_p a área útil do pavimento.

O valor limite das necessidades nominais de arrefecimento (N_v) de uma fracção autónoma, depende da zona climática do local e determina-se de acordo com o n.º2 do Artigo 15º [1], em que para o nosso caso em que o edifício se situa na zona climática V₃ Sul o valor de N_v é igual a 32 kWh/m².ano.

Estes parâmetros N_{vc} e N_{vi} são determinados com o auxílio das folhas de cálculo, presentes no regulamento, FCV.1a a FCV.1g para a estação de arrefecimento (*ver Anexo I.2*). No quadro I.6.1 é indicado o valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) e o valor limite destas (N_v) para o edifício em estudo:

Quadro I.6.1 – Necessidades Nominais de Arrefecimento.

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	7,23
N_v (kWh/m ² .ano)	32,00

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de arrefecimento, com uma razão de 22,6% (N_{vc} / N_v).

I.7. Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})

As águas quentes sanitárias (AQS) são a água potável a temperatura superior a 35°C utilizada para banhos, limpezas, cozinha e outros fins específicos, preparada em dispositivo próprio, com recurso a formas de energia convencionais ou renováveis. [1]

As **necessidades nominais de energia útil para a produção da água quente sanitária**, N_{ac} , são o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para aumentar, em 45°C, a temperatura da água que constitui o consumo médio anual de referência de água quente sanitária. As necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_{ac}) são calculadas pela seguinte equação:

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a} - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \quad (1.7.1)$$

onde, Q_a é a energia útil despendida com sistemas convencionais de AQS, η_a é a eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, E_{solar} é a contribuição de sistemas de colectores solares para a preparação de AQS, E_{ren} é a contribuição de quaisquer outras formas de energia renováveis (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais e A_p é a área útil do pavimento.

O **valor máximo admissível da energia útil para a preparação da água quente sanitária**, N_a , determina-se de acordo com a seguinte expressão (n.º3 do Artigo 15º [1]):

$$N_a = \frac{0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d}{A_p} \quad (1.7.2)$$

onde, M_{AQS} é o consumo médio diário de referência de AQS, n_d o número anual de dias de consumo de AQS e A_p área útil de pavimento.

De acordo com o n.º2 do artigo 7.º [1], o recurso a sistema de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja exposição solar adequada, na base de 1m² de colector por ocupante convencional previsto, conforme definido da metodologia de cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento de água sanitária referida no artigo 11.º [1], podendo este valor ser reduzido por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre

sudeste e sudoeste. Neste caso tratando-se de um T₃, o número de ocupantes será de 4 (Quadro VI.1 do Anexo VI, [1]), pelo que são necessários 4m² de colectores solares.

Ainda de acordo com o regulamento (n.º4 do Anexo VI, [1]), a contribuição de energia fornecida por estes sistemas de colectores solares para aquecimento de AQS (**E_{solar}**), calcula-se utilizando o programa SOLTERM do INETI (*ver Anexo II*), pelo que a contribuição de sistemas solares só poderá ser contabilizada, para efeitos deste regulamento, se os sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com a legislação em vigor, instalados por instaladores acreditados pela Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE) e com contrato de manutenção com uma duração mínima de seis anos.

Não está prevista a utilização de qualquer outro sistema para aproveitamento de energias renováveis para além daquele previsto para a preparação de AQS (**E_{ren} = 0**).

Ø **Condicionantes no sistema de preparação de AQS:**

Utilizadores: Fracção de tipologia T3 4 utilizadores

Área de cobertura: 54,65 m²

Área disponível no quadrante S: Sim

Colectores certificados: Sim

Ø **Sistema de preparação de AQS:**

Tipo de Sistema: Sistema centralizado e proporcional à ocupação da fracção

Sistema Auxiliar: Termoacumulador eléctrico com pelo menos 100mm de isolamento térmico e depósito de 200l

Funções: Preparação de AQS

Colectores solares: Colectores certificados, do modelo Gasokol, da marca comercial sunnySol UP

Tubagem: Isolada com polietileno de 36mm de espessura

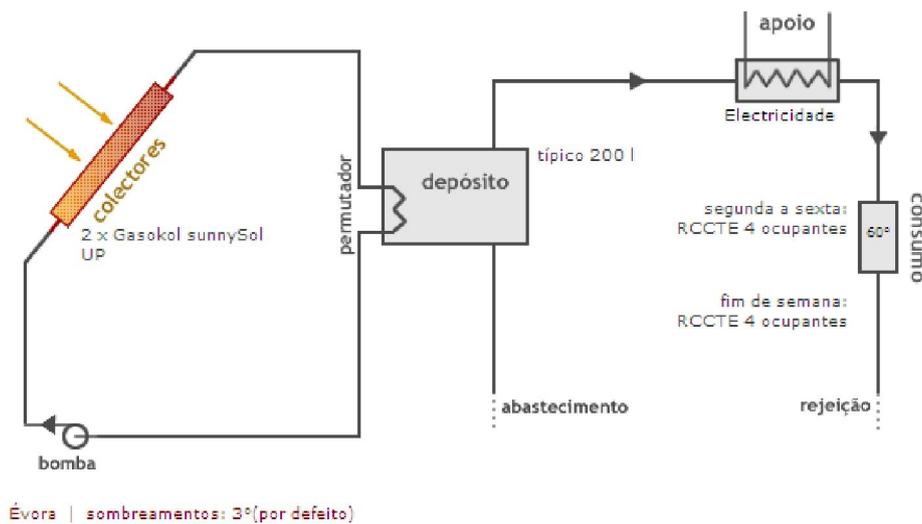


Figura I.7.1 – Sistema de preparação de AQS.

Ø **Consumos e eficiência:**

Quadro I.7.1 – Consumos e eficiência (AQS).

	Condições	Total	Referência
Consumo médio diário de referência de AQS (M_{AQS})	40 l/ocupante	160 l	Quadro VI.1 [1]
Aumento da temperatura necessária (T)	-	45°	Anexo VI, 2.2 [1]
Número anual de dias de consumo (n_d)	Edifício residencial	365 dias	Quadro VI.2 [1]
Eficiência de conversão do sistema de preparação de AQS (η_a)	Termoacumulador eléctrico com pelo menos 100mm de isolamento térmico	0,95 – 0 = 0,95	Anexo VI.3 [1]

Para a determinação das necessidades de energia útil para a preparação da água quente sanitária e para o seu valor máximo admissível utiliza-se a folha de cálculo referente à água quente sanitária (*ver Anexo I.3*). No quadro I.7.2 indicam-se as necessidades de energia útil para a preparação da água quente sanitária (N_{ac}) e o seu valor máximo admissível (N_a) nos termos do regulamento:

Quadro I.7.2 – Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária.

N_{ac} (kWh/m ² .ano)	8,90
N_a (kWh/m ² .ano)	51,70

Pelo que o edifício verifica as necessidades de energia para preparação da água quente sanitária, com uma razão de 17,2% (N_{ac} / N_a).

I.8. Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})

As **necessidades nominais anuais globais**, N_{tc} , não podem exceder um valor **máximo admissível de energia primária**, N_t :

$$N_{tc} \leq N_t \quad (1.8.1)$$

Uma fracção autónoma é caracterizada pelo indicador de necessidades globais anuais nominais de energia primária (N_{tc}), definido pela expressão abaixo:

$$N_{tc} = 0,1 \frac{N_{ic}}{\eta_i} F_{pui} + 0,1 \frac{N_{vc}}{\eta_v} F_{puv} + N_{ac} F_{pua} \quad (1.8.2)$$

onde, N_{ic} são as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, N_{vc} as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento, N_{ac} as necessidades de energia útil para a preparação das águas quentes sanitárias(AQS), F_{pui} o factor de conversão entre energia útil e energia primária (aquecimento), F_{puv} o factor de conversão entre energia útil e energia primária (arrefecimento), F_{pua} o factor de conversão entre energia útil e energia primária (AQS), η_i a eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de aquecimento e η_v a eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de arrefecimento.

O valor máximo admissível de energia primária (N_t) é determinado através da seguinte expressão:

$$N_t = 0,9(0,01N_i + 0,01N_v + 0,15N_a) \quad (1.8.3)$$

onde, N_i é o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_v o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento e N_a o valor máximo admissível da energia útil para a preparação da água quente sanitária.

Para o cálculo das necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (N_{tc}) consideram-se os seguintes sistemas:

- **Sistema de aquecimento:** Caldeira a combustível sólido com eficiência (η_i) de 0,6 e $F_{pu}=0,086$ (n.º 1 e 2 do Artigo 18º, [1])

- **Sistema de arrefecimento:** Máquina frigorífica (ciclo de compressão), com COP 3 (η_v) e $F_{pu}=0,290$ (n.º 1 e 2 do Artigo 18º, [1])

Para a determinação das necessidades anuais globais e para o valor máximo admissível de energia primária foi utilizada a folha de cálculo referente à energia primária (*ver Anexo I.4*). No quadro I.8.1 indicam-se as necessidades globais anuais específicas de energia primária (N_{tc}) e o seu valor máximo admissível (N_t) nos termos regulamentares (n.º 4 e 5 do Artigo 15.º, [1]):

Quadro I.8.1 – Necessidades Globais de Energia Primária.

N_{tc} (kgep/m².ano)	3,66
N_t (kgep/m².ano)	8,04

O edifício verifica as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, com uma razão de 45,5% (N_{tc} / N_t) e com uma **classe de eficiência energética A**.





Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Parte II – Estudo do Comportamento Térmico do Edifício
para Diferentes Situações

Nesta parte efectua-se um estudo do comportamento térmico do edifício objecto de estudo sujeito a diferentes situações, nomeadamente com:

- a fachada principal orientada a Sul, Norte, Este e Oeste;
- diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal, provocados por elementos horizontais com ângulos de 30°, 45° e 60° e sem elementos horizontais, para a fachada principal orientada nas quatro direcções consideradas;
- diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com menos 30% e 15% da área do envidraçado da situação real, com as áreas de envidraçado da situação real e com mais 15% e 30% da área do envidraçado da situação real, para a fachada principal orientada nas quatro direcções consideradas;
- diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores (isolamento com 30mm, 40mm (situação real) e 60mm de espessura) e diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura (isolamento com 40mm, 60mm (situação real) e 80mm de espessura), para a fachada principal orientada a Sul;
- diferentes classes de inércia térmica, a inércia forte (situação real), a inércia média e a inércia fraca, para a fachada principal orientada a Sul.

Este estudo do comportamento térmico do edifício objecto de estudo sujeito a diferentes situações, realiza-se mantendo constante:

- a zona climática (I_1 , V_3);
- os sistemas de aquecimento (caldeira a combustível sólido) e arrefecimento (máquina frigorífica - ciclo de compressão) da situação real (ver ponto I.8 deste trabalho);
- as necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (AQS) da situação real (ver ponto I.7 deste trabalho).

II.1. Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada em Diferentes Direcções

Como a fachada principal da moradia se encontra orientada a Sul (ver Parte I), efectua-se neste ponto um estudo, com a aplicação do RCCTE, para o cálculo da eficiência energética do edifício, mas com a fachada principal orientada nas direcções Norte, Este e Oeste.

II.1.1 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Norte

II.1.1.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Ø Factor de Obstrução (F_s)

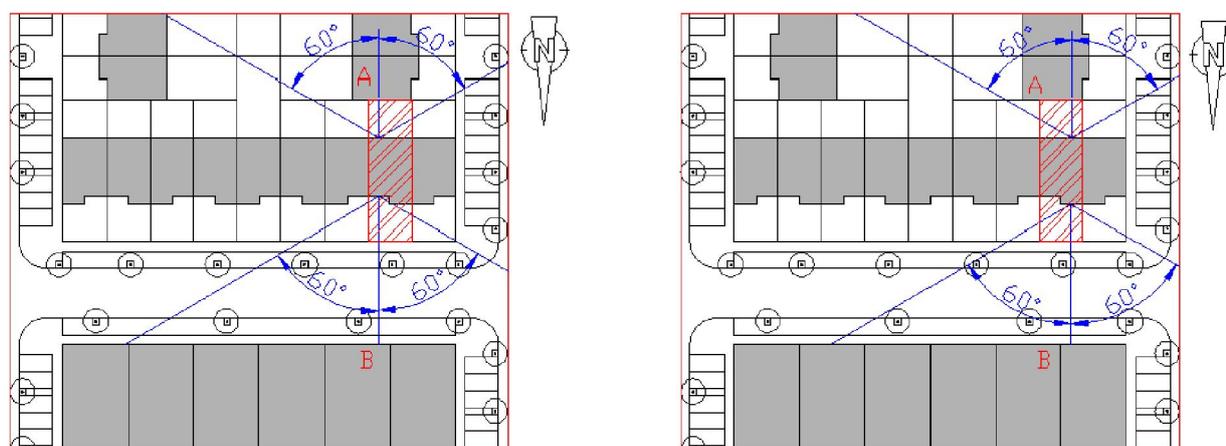
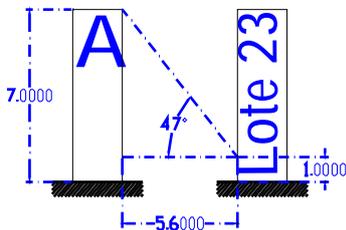
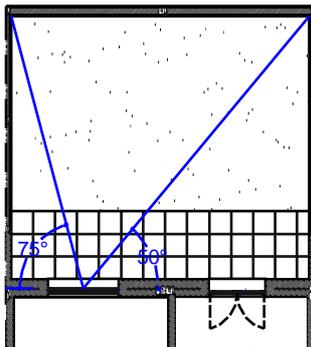
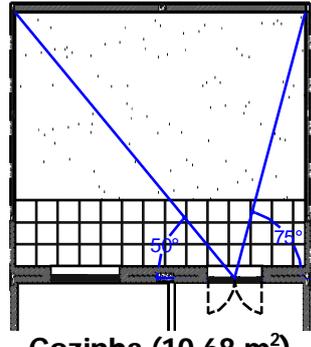
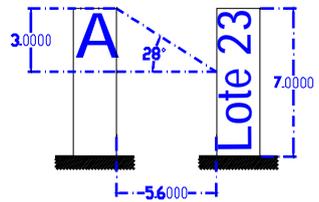
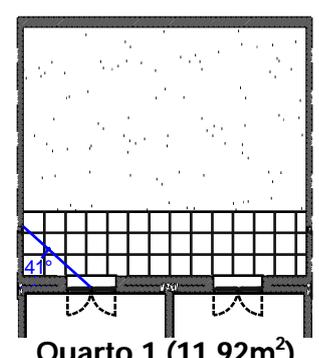
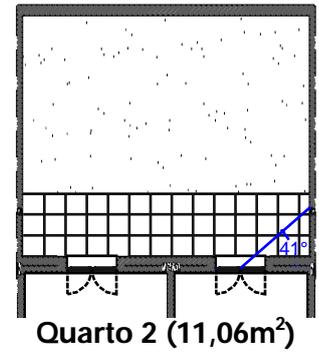


Figura II.1.1 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a N e a S.

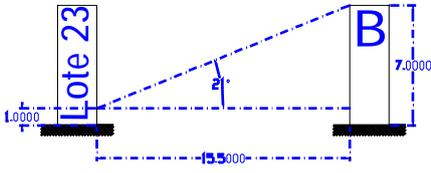
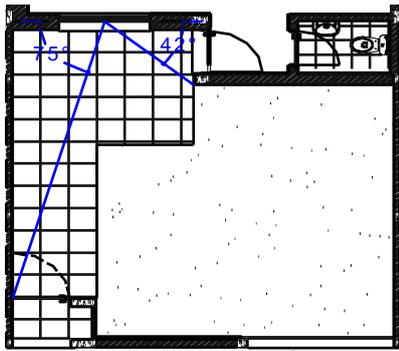
Quadro II.1.1 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.

Piso 0 Direcção S		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=47^\circ$ $F_h=0,45$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,65$ $=50^\circ$ $F_f=0,72$ $F_f=0,47$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,67$ $=50^\circ$ $F_f=0,72$ $F_f=0,48$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,45 \times 1,00 \times 0,47 = 0,21$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,48 = 0,48$

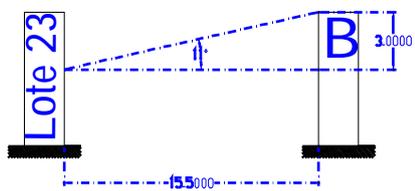
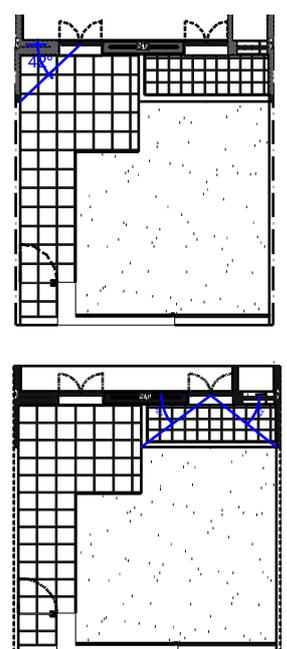
Quadro II.1.2 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.

Piso 1 Direcção S		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=28^\circ$ $F_h=0,72$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Quarto 1 (11,92m ²)  Quarto 2 (11,06m ²)	Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno F_f (Quarto 1) =0,89 F_f (Quarto 2) =0,89	Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão F_f (Quarto 1) = 0,88 F_f (Quarto 2) = 0,88
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	F_s (Q1) = 0,72 × 1,00 × 0,89 = 0,64 F_s (Q2) = 0,72 × 1,00 × 0,89 = 0,64	F_s (Q1) = 1,00 × 1,00 × 0,88 = 0,88 F_s (Q2) = 1,00 × 1,00 × 0,88 = 0,88

Quadro II.1.3 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.

Piso 0 Direcção N		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=21^\circ$ $F_h=1,00$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Sala (32,83 m ²)	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=1,00$ $=42^\circ$ $F_f=1,00$ $F_f=1,00$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=1,00$ $=42^\circ$ $F_f=1,00$ $F_f=1,00$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$

Quadro II.1.4 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.

Piso 1 Direcção N		
	Inverno	Verão
<p>F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p> 	<p>Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=11^\circ$ $F_h=1,00$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p>F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p>F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p>  <p style="text-align: center;">Quarto 3 (13,27m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=1,00$</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=1,00$</p>
<p>F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$</p>	<p>$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00$</p>

Ø Factor de Orientação (X_j)

O factor de orientação X_j , para as orientações N e S é igual a 0,27 e a 1, respectivamente (Anexo IV, Quadro IV.4, [1]).

Ø Factor de Correção da Selectividade Angular dos Envidraçados (F_w)

§ Estação de Aquecimento (Inverno)

O factor de correção da selectividade angular F_w , na estação de aquecimento, tem o valor de 0,90 para os vidros corrente duplos (Anexo IV, ponto 4.3.5, [1]).

§ Estação de Arrefecimento (Verão)

O factor de correção da selectividade angular F_w , na estação de arrefecimento, para vidro duplo e para as orientações N e S é igual a 0,80 e a 0,75, respectivamente (Quadro V.3 do Anexo V, [1]).

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.1.1.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Norte com novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados anteriormente determinados (ponto II.1.1.1 deste trabalho).

Ø Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic})

No quadro II.1.5 é indicado o valor das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e o valor limite destas (N_i) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Norte:

Quadro II.1.5 – Necessidades Nominais de Aquecimento.

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	72,94
N_i (kWh/m ² .ano)	86,30

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de aquecimento, com uma razão de 84,5% (N_{ic} / N_i).

Ø **Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})**

No quadro II.1.6 é indicado o valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) e o valor limite destas (N_v) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Norte:

Quadro II.1.6 – Necessidades Nominais de Arrefecimento.

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	7,00
N_v (kWh/m ² .ano)	32,00

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de arrefecimento, com uma razão de 21,9% (N_{vc} / N_v).

Ø **Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})**

No quadro I.7.2 estão indicadas as necessidades de energia útil para a preparação da água quente sanitária (N_{ac}) e o seu valor máximo admissível (N_a) nos termos do regulamento, no entanto como nada se alterou em relação ao sistema da água quente, os valores com a fachada principal orientada a Norte são os mesmo que na fachada principal orientada a Sul (situação real).

Ø **Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})**

No quadro II.1.7 é indicado o valor da energia primária com a fachada principal orientada a Norte:

Quadro II.1.7 – Necessidades Globais de Energia Primária.

N_{tc} (kgep/m ² .ano)	3,71
N_t (kgep/m ² .ano)	8,04

O edifício verifica as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, com uma razão de 46,1% (N_{tc} / N_t) e com uma **classe de eficiência energética A**.

II.1.2 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Este

II.1.2.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Ø Factor de Obstrução (F_s)

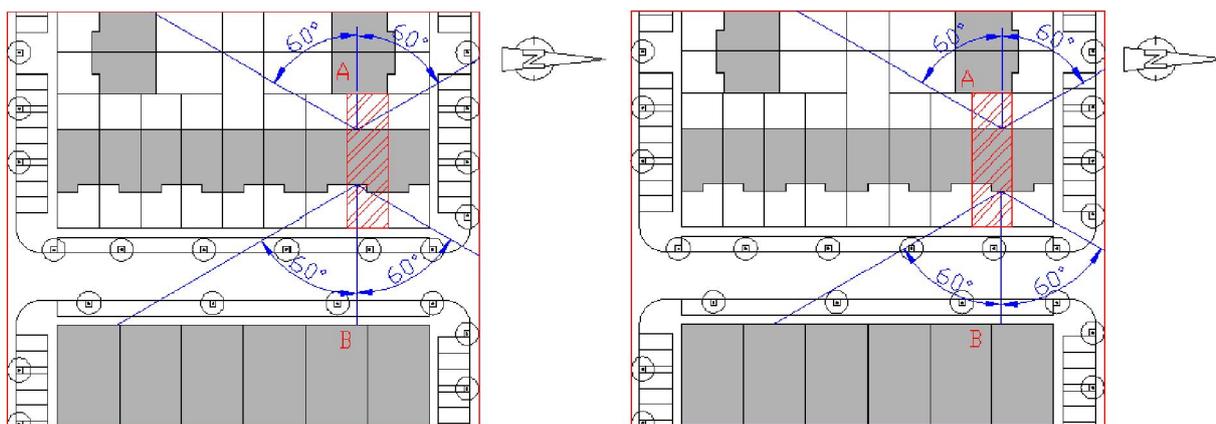
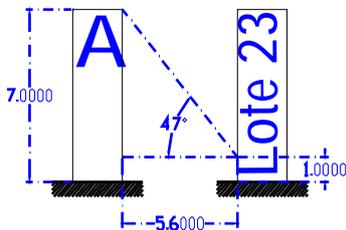
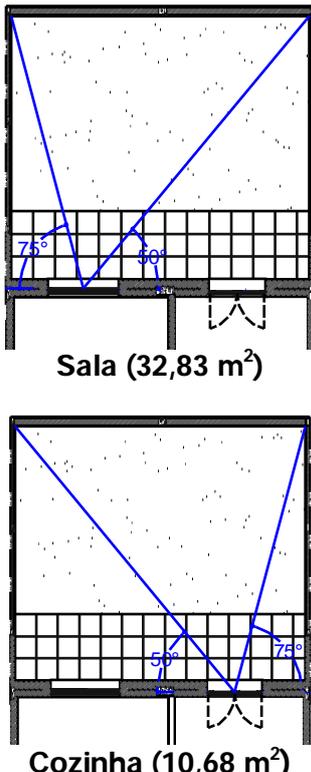
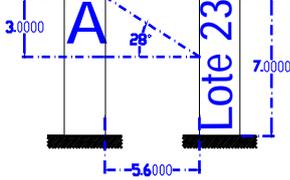
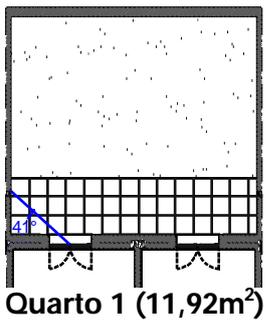
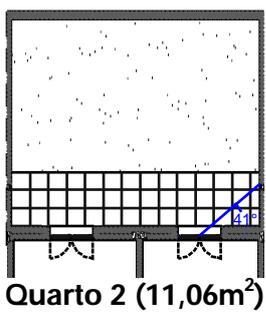


Figura II.1.2 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a E e a W.

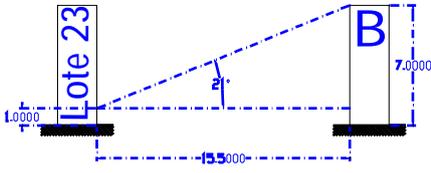
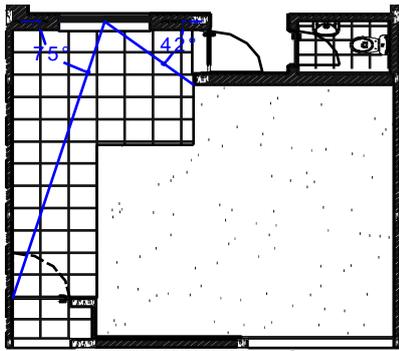
Quadro II.1.8 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W.

Piso 0 Direcção W		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=47^\circ$ $F_h=0,58$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais 	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,71$ $=50^\circ$ $F_f=0,77$ $F_f=0,55$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,86$ $=50^\circ$ $F_f=0,90$ $F_f=0,77$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,58 \times 1,00 \times 0,55 = 0,32$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,77 = 0,77$

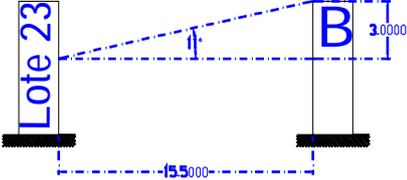
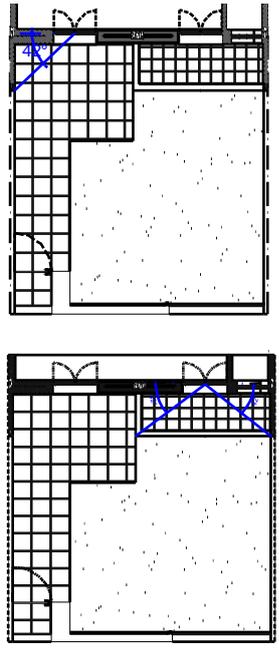
Quadro II.1.9 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W.

Piso 1 Direcção W		
	Inverno	Verão
<p>F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p> 	<p>Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=28^\circ$ $F_h=0,74$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p>F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p>F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p>  <p>Quarto 1 (11,92m²)</p>  <p>Quarto 2 (11,06m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno F_f (Quarto 1) =0,82 F_f (Quarto 2) =1,00</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=41^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão F_f (Quarto 1) =0,96 F_f (Quarto 2) =0,94</p>
<p>F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>F_s (Q1) = 0,74 × 1,00 × 0,82 = 0,61 F_s (Q2) = 0,74 × 1,00 × 1,00 = 0,74</p>	<p>F_s (Q1) = 1,00 × 1,00 × 0,96 = 0,96 F_s (Q2) = 1,00 × 1,00 × 0,94 = 0,94</p>

Quadro II.1.10 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.

Piso 0 Direcção E		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=21^\circ$ $F_h=0,83$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Sala (32,83 m ²)	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,71$ $=42^\circ$ $F_f=0,81$ $F_f=0,58$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,86$ $=42^\circ$ $F_f=0,91$ $F_f=0,78$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,83 \times 1,00 \times 0,58 = 0,48$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,78 = 0,78$

Quadro II.1.11 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.

Piso 1 Direcção E		
	Inverno	Verão
<p>F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p> 	<p>Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=11^\circ$ $F_h=0,93$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p>F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p>F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p>  <p style="text-align: center;">Quarto 3 (13,27m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=0,81$ F_f (Terraço) = 0,81</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=0,96$ F_f (Terraço) = 0,92</p>
<p>F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>$F_s = 0,93 \times 1,00 \times 0,81 = 0,75$ $F_s (T) = 0,93 \times 1,00 \times 0,81 = 0,75$</p>	<p>$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,96 = 0,96$ $F_s (T) = 1,00 \times 1,00 \times 0,92 = 0,92$</p>

Ø Factor de Orientação (X_j)

O factor de orientação X_j , para as orientações E e W é igual a 0,56 para ambas as direcções (Anexo IV, Quadro IV.4, [1]).

Ø Factor de Correção da Selectividade Angular dos Envidraçados (F_w)

§ Estação de Aquecimento (Inverno)

O factor de correcção da selectividade angular F_w , na estação de aquecimento, tem o valor de 0,90 para os vidros corrente duplos (Anexo IV, ponto 4.3.5, [1]).

§ Estação de Arrefecimento (Verão)

O factor de correcção da selectividade angular F_w , na estação de arrefecimento, para vidro duplo e para as orientações E e W é igual a 0,85 para ambas as direcções (Quadro V.3 do Anexo V, [1]).

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.1.2.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Este com novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados anteriormente determinados (ponto II.1.2.1 deste trabalho).

Ø Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic})

No quadro II.1.12 é indicado o valor das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e o valor limite destas (N_i) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Este:

Quadro II.1.12 – Necessidades Nominais de Aquecimento.

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	73,26
N_i (kWh/m ² .ano)	86,30

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de aquecimento, com uma razão de 84,9% (N_{ic} / N_i).

Ø **Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})**

No quadro II.1.13 é indicado o valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) e o valor limite destas (N_v) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Este:

Quadro II.1.13 – Necessidades Nominais de Arrefecimento.

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	12,08
N_v (kWh/m ² .ano)	32,00

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de arrefecimento, com uma razão de 37,8% (N_{vc} / N_v).

Ø **Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})**

No quadro I.7.2 estão indicadas as necessidades de energia útil para a preparação da água quente sanitária (N_{ac}) e o seu valor máximo admissível (N_a) nos termos do regulamento, no entanto como nada se alterou em relação ao sistema da água quente, os valores com a fachada principal orientada a Este são os mesmo que na fachada principal orientada a Sul (situação real).

Ø **Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})**

No quadro II.1.14 é indicado o valor da energia primária com a fachada principal orientada a Este:

Quadro II.1.14 – Necessidades Globais de Energia Primária.

N_{tc} (kgep/m ² .ano)	3,76
N_t (kgep/m ² .ano)	8,04

O edifício verifica as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, com uma razão de 46,8% (N_{tc} / N_t) e com uma **classe de eficiência energética A**.

II.1.3 – Eficiência Energética do Edifício para a Fachada Principal Orientada a Oeste

II.1.3.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Ø Factor de Obstrução (F_s)

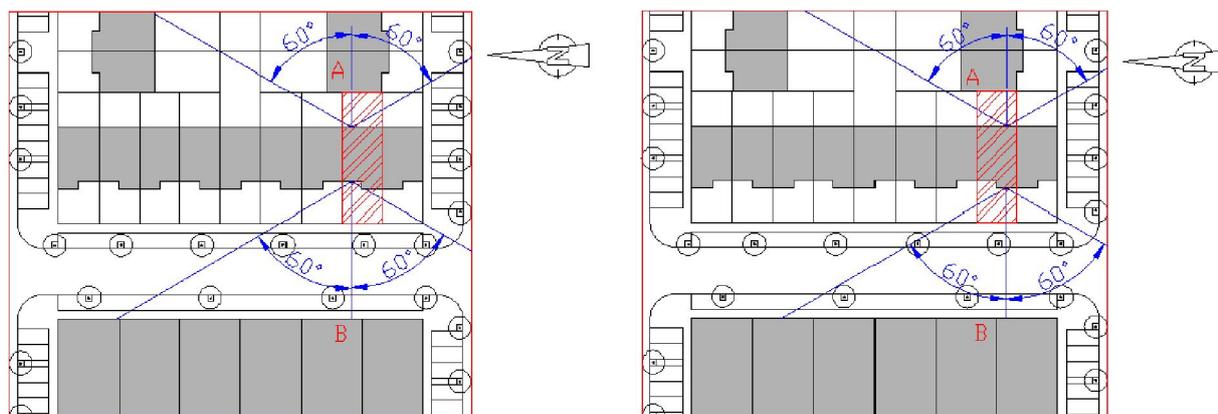
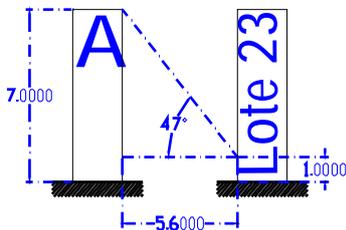
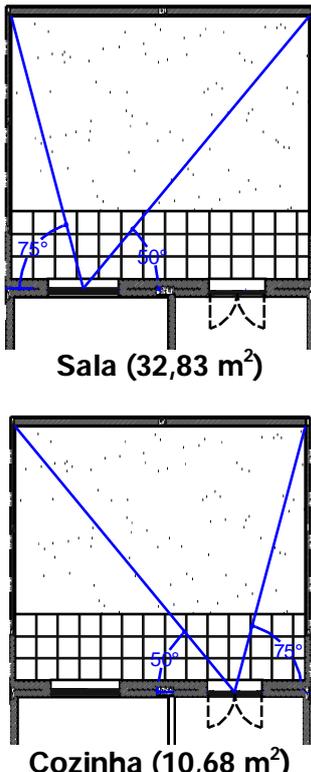


Figura II.1.3 – Edifícios e obstruções a considerar para os vãos orientados a E e a W.

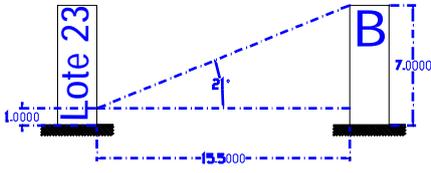
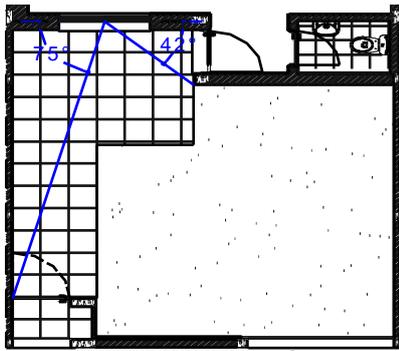
Quadro II.1.15 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.

Piso 0 Direcção E		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=47^\circ$ $F_h=0,58$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais 	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,71$ $=50^\circ$ $F_f=0,77$ $F_f=0,55$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=50^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,86$ $=50^\circ$ $F_f=0,90$ $F_f=0,77$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,58 \times 1,00 \times 0,55 = 0,32$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,77 = 0,77$

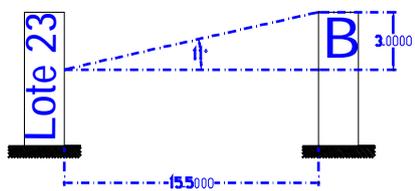
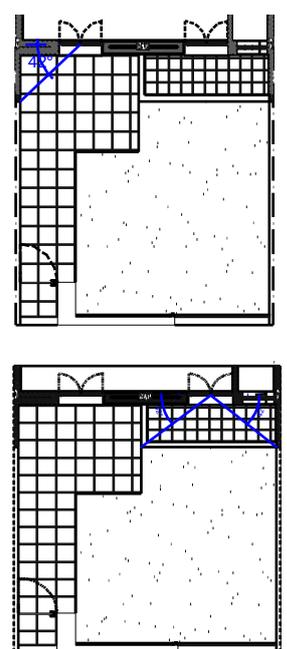
Quadro II.1.16 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.

Piso 1 Direcção E		
	Inverno	Verão
<p>F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p>	<p>Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=28^\circ$ $F_h=0,74$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p>F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p>F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p> <p>Quarto 1 (11,92m²)</p> <p>Quarto 2 (11,06m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $\alpha=41^\circ$ ↓ Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno F_f (Quarto 1) =1,00 F_f (Quarto 2) =0,82</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $\alpha=41^\circ$ ↓ Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão F_f (Quarto 1) =0,94 F_f (Quarto 2) =0,96</p>
<p>F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>F_s (Q1) = 0,74 × 1,00 × 1,00 = 0,74 F_s (Q2) = 0,74 × 1,00 × 0,82 = 0,61</p>	<p>F_s (Q1) = 1,00 × 1,00 × 0,94 = 0,94 F_s (Q2) = 1,00 × 1,00 × 0,96 = 0,96</p>

Quadro II.1.17 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W.

Piso 0 Direcção W		
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte 	Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=21^\circ$ $F_h=0,83$	Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$
F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$	Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais  Sala (32,83 m ²)	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $=75^\circ$ $F_f=0,71$ $=42^\circ$ $F_f=0,81$ $F_f=0,58$	Ângulos das palas bilaterais verticais: $=75^\circ$ e $=42^\circ$ ↓ Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $=75^\circ$ $F_f=0,86$ $=42^\circ$ $F_f=0,91$ $F_f=0,78$
F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$	$F_s = 0,83 \times 1,00 \times 0,58 = 0,48$	$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,78 = 0,78$

Quadro II.1.18 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W.

Piso 1 Direcção W		
	Inverno	Verão
<p>F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte</p> 	<p>Interpolação da Tabela IV.5 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Inverno $\alpha=11^\circ$ $F_h=0,93$</p>	<p>Anexo V, Ponto 2.3 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento do horizonte para a situação de Verão $F_h=1,00$</p>
<p>F_0 – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Tabela IV.6 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de $F_0=1,00$</p>	<p>Sem palas horizontais, logo o ângulo da pala horizontal é $\alpha=0^\circ$ (Quadro V.1 do RCCTE), o factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de $F_0=1,00$</p>
<p>F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais</p>  <p style="text-align: center;">Quarto 3 (13,27m²)</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela IV.7 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Inverno $F_f=1,00$ F_f (Terraço) $=0,81$</p>	<p>Ângulo da pala unilateral vertical com $=42^\circ$ (Quarto 3) e Ângulo das palas bilaterais verticais $=42^\circ$ (Quarto 3 - Terraço)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Interpolação da Tabela V.2 do RCCTE</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Factor de sombreamento por elementos verticais para a situação de Verão $F_f=0,93$ F_f (Terraço) $=0,92$</p>
<p>F_s – Factor de Obstrução $F_s = F_h \times F_0 \times F_f$</p>	<p>$F_s = 0,93 \times 1,00 \times 1,00 = 0,93$ $F_s (T) = 0,93 \times 1,00 \times 0,81 = 0,75$</p>	<p>$F_s = 1,00 \times 1,00 \times 0,93 = 0,93$ $F_s (T) = 1,00 \times 1,00 \times 0,92 = 0,92$</p>

Ø Factor de Orientação (X_j)

O factor de orientação X_j , para as orientações E e W é igual a 0,56 para ambas as direcções (Anexo IV, Quadro IV.4, [1]).

Ø Factor de Correção da Selectividade Angular dos Envidraçados (F_w)

§ Estação de Aquecimento (Inverno)

O factor de correcção da selectividade angular F_w , na estação de aquecimento, tem o valor de 0,90 para os vidros corrente duplos (Anexo IV, ponto 4.3.5, [1]).

§ Estação de Arrefecimento (Verão)

O factor de correcção da selectividade angular F_w , na estação de arrefecimento, para vidro duplo e para as orientações E e W é igual a 0,85 para ambas as direcções (Quadro V.3 do Anexo V, [1]).

Em nenhum caso o produto $X_j \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.1.3.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Oeste com novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados anteriormente determinados (ponto II.1.3.1 deste trabalho).

Ø Necessidades Nominais de Aquecimento (N_i e N_{ic})

No quadro II.1.19 é indicado o valor das necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e o valor limite destas (N_i) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Oeste:

Quadro II.1.19 – Necessidades Nominais de Aquecimento.

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	72,94
N_i (kWh/m ² .ano)	86,30

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de aquecimento, com uma razão de 84,5% (N_{ic} / N_i).

Ø Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})

No quadro II.1.20 é indicado o valor das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) e o valor limite destas (N_v) para o edifício em estudo com a fachada principal orientada a Oeste:

Quadro II.1.20 – Necessidades Nominais de Arrefecimento.

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	12,05
N_v (kWh/m ² .ano)	32,00

Pelo que o edifício verifica as necessidades nominais de arrefecimento, com uma razão de 37,7% (N_{vc} / N_v).

Ø Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})

No quadro I.7.2 estão indicadas as necessidades de energia útil para a preparação da água quente sanitária (N_{ac}) e o seu valor máximo admissível (N_a) nos termos do regulamento, no entanto como nada se alterou em relação ao sistema da água quente, os valores com a fachada principal orientada a Oeste são os mesmo que na fachada principal orientada a Sul (situação real).

Ø Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})

No quadro II.1.21 é indicado o valor da energia primária com a fachada principal orientada a Oeste:

Quadro II.1.21 – Necessidades Globais de Energia Primária.

N_{tc} (kgep/m ² .ano)	3,76
N_t (kgep/m ² .ano)	8,04

O edifício verifica as necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária, com uma razão de 46,8% (N_{tc} / N_t) e com uma **classe de eficiência energética A**.

II.2. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamentos dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções

Neste ponto determina-se a eficiência energética do edifício com diferentes tipos de sombreamentos dos vãos envidraçados para fachada principal, provocados por elementos horizontais com ângulos de 30°, 45° e 60° e sem elementos horizontais⁴⁸, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções (Sul, Norte, Este e Oeste).

II.2.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Sul

II.2.1.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Quadro II.2.1 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção S.

	Piso 0 Direcção S (Sala)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,88	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,73 α=45° F ₀ =0,59 α=60° F ₀ =0,44	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,63 α=45° F ₀ =0,55 α=60° F ₀ =0,52
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =0,51	F _f =0,51
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,88 × 0,73 × 0,51 = 0,33 F _s (α=45°) = 0,88 × 0,59 × 0,51 = 0,26 F _s (α=60°) = 0,88 × 0,44 × 0,51 = 0,20	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,63 × 0,51 = 0,32 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,55 × 0,51 = 0,28 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,52 × 0,51 = 0,27

⁴⁸ A eficiência energética do edifício sem elementos horizontais é determinada para a orientação Sul na Parte I e para as orientações Norte, Este e Oeste no ponto II.1 da Parte II deste trabalho.

Quadro II.2.2 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção S.

	Piso 1 Direcção S (Quarto 3)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,96	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,73 α=45° F ₀ =0,59 α=60° F ₀ =0,44	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,63 α=45° F ₀ =0,55 α=60° F ₀ =0,52
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =0,89 F _f (Terraço) =0,78	F _f =0,88 F _f (Terraço) =0,76
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,96 × 0,73 × 0,89 = 0,62 F _s (α=30°) (T) = 0,96 × 0,73 × 0,78 = 0,55 F _s (α=45°) = 0,96 × 0,59 × 0,89 = 0,50 F _s (α=45°) (T) = 0,96 × 0,59 × 0,78 = 0,44 F _s (α=60°) = 0,96 × 0,44 × 0,89 = 0,38 F _s (α=60°) (T) = 0,96 × 0,44 × 0,78 = 0,33	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,63 × 0,88 = 0,55 F _s (α=30°) (T) = 1,00 × 0,63 × 0,76 = 0,48 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,55 × 0,88 = 0,48 F _s (α=45°) (T) = 1,00 × 0,55 × 0,76 = 0,42 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,52 × 0,88 = 0,46 F _s (α=60°) (T) = 1,00 × 0,52 × 0,76 = 0,40

Em nenhum caso o produto X_j*F_h*F₀*F_f deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.2.1.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados anteriormente determinados (ponto II.2.1.1 deste trabalho).

Quadro II.2.3 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.

	$\alpha=0^\circ$ (Real)	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	69,27	72,09	73,57	74,59
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,23	6,29	6,10	6,04
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,66	3,69	3,71	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.2.4 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.

	$\alpha=0^\circ$ (Real)	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
Razão (N_{ic}/N_i)	80,3%	83,5%	85,2%	86,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,6%	19,7%	19,1%	18,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,5%	45,9%	46,1%	46,3%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

II.2.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Norte

II.2.2.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Quadro II.2.5 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção N.

	Piso 0 Direcção N (Sala)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =1,00	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =1,00 α=45° F ₀ =1,00 α=60° F ₀ =1,00	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,98 α=45° F ₀ =0,97 α=60° F ₀ =0,94
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =1,00	F _f =1,00
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=45°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=60°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,98 × 1,00 = 0,98 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,97 × 1,00 = 0,97 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,94 × 1,00 = 0,94

Quadro II.2.6 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção N.

	Piso 1 Direcção N (Quarto 3)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =1,00	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =1,00 α=45° F ₀ =1,00 α=60° F ₀ =1,00	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,98 α=45° F ₀ =0,97 α=60° F ₀ =0,94
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =1,00 F _f (Terraço) =1,00	F _f =1,00 F _f (Terraço) =1,00
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=30°) (T) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=45°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=45°) (T) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=60°) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00 F _s (α=60°) (T) = 1,00 × 1,00 × 1,00 = 1,00	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,98 × 1,00 = 0,98 F _s (α=30°) (T) = 1,00 × 0,98 × 1,00 = 0,98 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,97 × 1,00 = 0,97 F _s (α=45°) (T) = 1,00 × 0,97 × 1,00 = 0,97 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,94 × 1,00 = 0,94 F _s (α=60°) (T) = 1,00 × 0,94 × 1,00 = 0,94

Em nenhum caso o produto X_j*F_h*F₀*F_f deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.2.2.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{ic}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Norte, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.1.1 deste trabalho e os novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto anterior (ponto II.2.2.1 deste trabalho).

Quadro II.2.7 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,94	72,94	72,94	72,94
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,00	6,96	6,93	6,87
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,71	3,71	3,71	3,71
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.2.8 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	84,5%	84,5%	84,5%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,9%	21,8%	21,7%	21,5%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,1%	46,1%	46,1%	46,1%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

II.2.3 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Este

II.2.3.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Quadro II.2.9 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção E.

	Piso 0 Direcção E (Sala)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,83	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,84 α=45° F ₀ =0,74 α=60° F ₀ =0,64	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,75 α=45° F ₀ =0,64 α=60° F ₀ =0,55
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =0,58	F _f =0,78
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,83 × 0,84 × 0,58 = 0,40 F _s (α=45°) = 0,83 × 0,74 × 0,58 = 0,36 F _s (α=60°) = 0,83 × 0,64 × 0,58 = 0,31	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,75 × 0,78 = 0,59 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,64 × 0,78 = 0,50 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,55 × 0,78 = 0,43

Quadro II.2.10 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção E.

	Piso 1 Direcção E (Quarto 3)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,93	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,84 α=45° F ₀ =0,74 α=60° F ₀ =0,64	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,75 α=45° F ₀ =0,64 α=60° F ₀ =0,55
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =0,81 F _f (Terraço) = 0,81	F _f =0,96 F _f (Terraço) = 0,92
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,93 × 0,84 × 0,81 = 0,63 F _s (α=30°) (T) = 0,93 × 0,84 × 0,81 = 0,63 F _s (α=45°) = 0,93 × 0,74 × 0,81 = 0,56 F _s (α=45°) (T) = 0,93 × 0,74 × 0,81 = 0,56 F _s (α=60°) = 0,93 × 0,64 × 0,81 = 0,48 F _s (α=60°) (T) = 0,93 × 0,64 × 0,81 = 0,48	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,75 × 0,96 = 0,72 F _s (α=30°) (T) = 1,00 × 0,75 × 0,92 = 0,69 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,64 × 0,96 = 0,61 F _s (α=45°) (T) = 1,00 × 0,64 × 0,92 = 0,59 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,55 × 0,96 = 0,53 F _s (α=60°) (T) = 1,00 × 0,55 × 0,92 = 0,51

Em nenhum caso o produto X_j*F_h*F₀*F_f deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.2.3.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{ic}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Este, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.2.1 deste trabalho e os novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto anterior (ponto II.2.3.1 deste trabalho).

Quadro II.2.11 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	73,26	73,86	74,21	74,60
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	12,08	10,92	10,40	10,00
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,76	3,76	3,76	3,76
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.2.12 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
Razão (N_{ic}/N_i)	84,9%	85,6%	86,0%	86,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	37,8%	34,1%	32,5%	31,3%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,8%	46,8%	46,8%	46,8%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

II.2.4 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Tipos de Sombreamento dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada a Oeste

II.2.4.1 – Ganhos Térmicos (Factores solares dos vãos envidraçados)

Quadro II.2.13 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 0 segundo a direcção W.

	Piso 0 Direcção W (Sala)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,83	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,84 α=45° F ₀ =0,74 α=60° F ₀ =0,64	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,75 α=45° F ₀ =0,64 α=60° F ₀ =0,55
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =0,58	F _f =0,78
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,83 × 0,84 × 0,58 = 0,40 F _s (α=45°) = 0,83 × 0,74 × 0,58 = 0,36 F _s (α=60°) = 0,83 × 0,64 × 0,58 = 0,31	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,75 × 0,78 = 0,59 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,64 × 0,78 = 0,50 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,55 × 0,78 = 0,43

Quadro II.2.14 – Factores de sombreamento e de obstrução dos vãos envidraçados do Piso 1 segundo a direcção W.

	Piso 1 Direcção W (Quarto 3)	
	Inverno	Verão
F_h – Factor de Sombreamento do Horizonte	F _h =0,93	F _h =1,00
F₀ – Factor de Sombreamento por Elementos Horizontais	Tabela IV.6 do RCCTE ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Inverno é de: α=30° F ₀ =0,84 α=45° F ₀ =0,74 α=60° F ₀ =0,64	Quadro V.1 do RCCTE) ↓ Factor de sombreamento por elementos horizontais para a situação de Verão é de: α=30° F ₀ =0,75 α=45° F ₀ =0,64 α=60° F ₀ =0,55
F_f – Factor de Sombreamento por Elementos Verticais	F _f =1,00 F _f (Terraço) =0,81	F _f =0,93 F _f (Terraço) =0,92
F_s – Factor de Obstrução F _s = F _h × F ₀ × F _f	F _s (α=30°) = 0,93 × 0,84 × 1,00 = 0,78 F _s (α=30°) (T) = 0,93 × 0,84 × 0,81 = 0,63 F _s (α=45°) = 0,93 × 0,74 × 1,00 = 0,69 F _s (α=45°) (T) = 0,93 × 0,74 × 0,81 = 0,56 F _s (α=60°) = 0,93 × 0,64 × 1,00 = 0,60 F _s (α=60°) (T) = 0,93 × 0,64 × 0,81 = 0,48	F _s (α=30°) = 1,00 × 0,75 × 0,93 = 0,70 F _s (α=30°) (T) = 1,00 × 0,75 × 0,92 = 0,69 F _s (α=45°) = 1,00 × 0,64 × 0,93 = 0,60 F _s (α=45°) (T) = 1,00 × 0,64 × 0,92 = 0,59 F _s (α=60°) = 1,00 × 0,55 × 0,93 = 0,51 F _s (α=60°) (T) = 1,00 × 0,55 × 0,92 = 0,51

Em nenhum caso o produto X_j*F_h*F₀*F_f deve ser menor que 0,27, pelo que foi verificado se todos os vãos envidraçados cumprem este critério, deste modo as situações em que não cumpria este critério, adopta-se o valor de 0,27.

II.2.4.2 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{ic}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Oeste, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.3.1 deste trabalho e os novos valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto anterior (ponto II.2.4.1 deste trabalho).

Quadro II.2.15 – Necessidades nominais para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,94	73,59	73,98	74,39
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	12,05	10,90	10,39	9,98
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,75	3,75	3,75	3,75
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.2.16 – Eficiência energética para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.

	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=45^\circ$	$\alpha=60^\circ$
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	85,3%	85,7%	86,2%
Razão (N_{vc}/N_v)	37,7%	34,1%	32,5%	31,2%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,6%	46,6%	46,6%	46,6%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

II.3. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções

Neste ponto determina-se a eficiência energética do edifício com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com menos 30% e 15% da área do envidraçado da situação real, com o envidraçado na situação real⁴⁹ e com mais 15% e 30% da área do envidraçado da situação real, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções (Sul, Norte, Este e Oeste).

Para o cálculo da eficiência energética do edifício com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal é necessário primeiramente determinar as áreas de envidraçado e as áreas das paredes exteriores (PE1) para a caso de menos 30% e 15% da área do envidraçado real e de mais 15% e 30% da área do envidraçado real.

Quadro II.3.1 – Áreas dos envidraçados para a fachada principal.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Área dos Envidraçados Real (m ²)	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real (m ²)
Sala	2,10	2,55	3,00	3,45	3,90
Quarto 3	0,85	1,03	1,21	1,39	1,57
Quarto 3 (Terraço)	1,54	1,87	2,20	2,53	2,86

Quadro II.3.2 – Áreas das paredes exteriores (PE1) de acordo com as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Área dos Envidraçados Real (m ²)	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real (m ²)	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real (m ²)
Parede Exterior (PE1)	22,86	21,90	20,94	19,98	19,02

Como a área dos vãos envidraçados é superior a 15% da área útil do pavimento, para todas as diferentes áreas de envidraçado, mantém-se o valor de R_{ph} (ver o ponto I.4.4.3 deste trabalho). Todos os vãos envidraçados têm mais de 5% da área útil do espaço que servem, pelo que $g_{m\acute{a}x}$ se mantém (ver ponto I.4.2 deste trabalho).

⁴⁹ A eficiência energética do edifício com a área de envidraçados na situação real é determinada para a orientação Sul na Parte I e para as orientações Norte, Este e Oeste no ponto II.1 da Parte II deste trabalho.

II.3.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Sul

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores das áreas dos vãos envidraçados e das áreas das paredes exteriores (PE1) para a fachada principal, determinados anteriormente (ver quadro II.3.1 e quadro II.3.2 deste trabalho).

Quadro II.3.3 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	70,31	69,79	69,27	68,76	68,26
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	6,79	7,01	7,23	7,45	7,67
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,67	3,66	3,66	3,65	3,65
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.3.4 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
Razão (N_{ic}/N_i)	81,5%	80,9%	80,3%	79,8%	79,1%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,2%	21,9%	22,6%	23,3%	24,0%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,6%	45,5%	45,5%	45,4%	45,4%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

II.3.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Norte

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Norte, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.1.1 deste trabalho e os novos valores das áreas dos vãos envidraçados e das áreas das paredes exteriores (PE1) para a fachada principal, determinados anteriormente (ver quadro II.3.1 e quadro II.3.2 deste trabalho).

Quadro II.3.5 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,19	72,56	72,94	73,31	73,69
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	6,66	6,83	7,00	7,17	7,34
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,69	3,70	3,71	3,71	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.3.6 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
Razão (N_{ic}/N_i)	83,7%	84,1%	84,5%	84,9%	85,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	20,8%	21,3%	21,9%	22,4%	22,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,9%	46,0%	46,1%	46,1%	46,3%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

II.3.3 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Este

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Este, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.2.1 deste trabalho e os novos valores das áreas dos vãos envidraçados e das áreas das paredes exteriores (PE1) para a fachada principal, determinados anteriormente (ver quadro II.3.1 e quadro II.3.2 deste trabalho).

Quadro II.3.7 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,91	73,08	73,26	73,43	73,61
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	11,06	11,57	12,08	12,59	13,10
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,75	3,75	3,76	3,77	3,78
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.3.8 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	84,7%	84,9%	85,1%	85,3%
Razão (N_{vc}/N_v)	34,6%	36,2%	37,8%	39,3%	40,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,6%	46,6%	46,8%	46,9%	47,0%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

II.3.4 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada a Oeste

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utiliza-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, mas para a fachada principal orientada a Oeste, com os valores dos factores solares dos vãos envidraçados que constam no ponto II.1.3.1 deste trabalho e os novos valores das áreas dos vãos envidraçados e das áreas das paredes exteriores (PE1) para a fachada principal, determinados anteriormente (ver quadro II.3.1 e quadro II.3.2 deste trabalho).

Quadro II.3.9 – Necessidades nominais para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,69	72,81	72,94	73,06	73,19
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	11,04	11,54	12,05	12,55	13,06
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,74	3,75	3,76	3,76	3,77
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04

Quadro II.3.10 – Eficiência energética para as diferentes áreas dos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
Razão (N_{ic}/N_i)	84,2%	84,4%	84,5%	84,7%	84,8%
Razão (N_{vc}/N_v)	34,5%	36,1%	37,7%	39,2%	40,8%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,5%	46,6%	46,8%	46,8%	46,9%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

II.4. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento Térmico para a Fachada Principal Orientada a Sul

Neste ponto determina-se a eficiência energética do edifício com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores e a eficiência energética do edifício com diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

II.4.1 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento Térmico nas Paredes Exteriores para a Fachada Principal Orientada a Sul

A eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul (situação real) determina-se para diferentes espessuras de isolamento nas paredes exteriores PE1, PE2 e PE4 (ver ponto I.4.1), mantendo constante o isolamento na parede exterior da caixa de estore (PE3) e o isolamento em todos os outros elementos construtivos.

Sabendo que para a situação real a espessura de isolamento nas paredes exteriores (PE1, PE2 e PE4) é de 40mm em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS), ir-se-á efectuar um estudo para 30mm e 60mm de isolamento (XPS).

II.4.1.1 – Para a situação de 30mm de isolamento (XPS) nas Paredes Exteriores PE1, PE2 e PE4

Ø Coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores:

$$U_{PE1} = 0,54 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{50}$$

$$U_{PE2} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$U_{PE4} = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

⁵⁰ ITE 50, Quadro II.6, LNEC [2]

Ø Verificação dos requisitos mínimos:

Quadro II.4.1 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.

Elemento	U [W/(m ² .°C)]	Umáx. [W/(m ² .°C)]	Situação
PE1	0,54	1,8 ⁵¹	ok
PE2	0,69	min(0,54*2;1,80) ⁵²	ok
PE3	0,88	min(0,54*2;1,80) ⁵³	ok
PE4	0,75	min(0,54*2;1,80) ⁵⁴	ok

Ø Perdas Térmicas:
§ Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)

As pontes térmicas lineares são as mesmas que as descritas no ponto I.4.4.1.

§ Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)

Quadro II.4.2 – Coeficiente de transmissão térmica plana.

Descrição	U (W/m ² .°C)
Parede Exterior – Pilar (PE2)	0,69
Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)	0,88
Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)	0,75

Ø Verificação do RCCTE:

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades da energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e novos valores das pontes térmicas planas, anteriormente determinados (ver ponto II.4.1.1 deste trabalho).

⁵¹ Anexo IX – Quadro IX.1, RCCTE [1]

⁵² Anexo IX – Ponto 2, RCCTE [1]

⁵³ Anexo IX – Ponto 2, RCCTE [1]

⁵⁴ Anexo IX – Ponto 2, RCCTE [1]

Quadro II.4.3 – Necessidades nominais com o isolamento de 30mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento de 30mm nas paredes exteriores
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	70,89
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,15
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,68
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04

Quadro II.4.4 – Eficiência energética com o isolamento de 30mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento de 30mm nas paredes exteriores
Razão (N_{ic}/N_i)	82,1%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,3%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,8%
Classe de eficiência energética	A

II.4.1.2 – Para a situação de 60mm de isolamento (XPS) nas Paredes Exteriores PE1, PE2 e PE4

Ø **Coefficientes de transmissão térmica das paredes exteriores:**

$$U_{PE1} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{55}$$

$$U_{PE2} = 0,44 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$U_{PE4} = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

⁵⁵ ITE 50, Quadro II.6, LNEC [2]

Ø Verificação dos requisitos mínimos:

Quadro II.4.5 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.

Elemento	U [W/(m ² .°C)]	Umáx. [W/(m ² .°C)]	Situação
PE1	0,38	1,8	ok
PE2	0,44	min(0,38*2;1,80)	ok
PE3	0,88	min(0,38*2;1,80)	Não Cumpre!
PE4	0,47	min(0,38*2;1,80)	ok

A Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3) não cumpre os requisitos mínimos pelo que se tem que aumentar o isolamento térmico (XPS) de 30mm para 40mm, ficando:

$$U_{PE3} = 0,71 \text{ W/(m}^2\text{.°C)}$$

Ø Perdas Térmicas:
§ Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)

As pontes térmicas lineares são as mesmas que as descritas no ponto I.4.4.1.

§ Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)

Quadro II.4.6 – Coeficiente de transmissão térmica plana.

Descrição	U (W/m ² .°C)
Parede Exterior – Pilar (PE2)	0,44
Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)	0,71
Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)	0,47

Ø Verificação do RCCTE:

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores dos coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores e novos valores das pontes térmicas planas, anteriormente determinados (ver ponto II.4.1.2 deste trabalho).

Quadro II.4.7 – Necessidades nominais com o isolamento de 60mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento de 60mm nas paredes exteriores
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	67,13
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,34
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,63
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04

Quadro II.4.8 – Eficiência energética com o isolamento de 60mm nas paredes exteriores, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento de 60mm nas paredes exteriores
Razão (N_{ic}/N_i)	77,8%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,1%
Classe de eficiência energética	A

II.4.2 – Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Espessuras de Isolamento Térmico na Cobertura para a Fachada Principal Orientada a Sul

A eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul (situação real) determina-se para diferentes espessuras de isolamento na cobertura, mantendo constante isolamento de todos os outros elementos construtivos.

Sabendo que para a situação real a espessura de isolamento na cobertura é de 60mm de lã de rocha (MW), ir-se-á efectuar um estudo para 40mm e 80mm de isolamento (MW).

II.4.2.1 – Para a situação de 40mm de isolamento (MW) na Cobertura

Ø **Coefficientes de transmissão térmica da cobertura:**

$$U_{\text{Cobertura}} (\text{fluxo ascendente}) = 0,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{56}$$

Ø **Verificação dos requisitos mínimos:**

Quadro II.4.9 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.

Elemento	U [W/(m ² ·°C)]	Umáx. [W/(m ² ·°C)]	Situação
Cobertura	0,74	1,25	ok

Ø **Perdas Térmicas:**

As pontes térmicas lineares e as pontes térmicas superficiais são as mesmas que as descritas no ponto I.4.4 deste trabalho

Ø **Verificação do RCCTE:**

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades da energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores dos coeficientes de transmissão térmica da cobertura anteriormente determinados (ver ponto II.4.2.1 deste trabalho).

⁵⁶ ITE 50, Quadro II.19, LNEC [2]

Quadro II.4.10 – Necessidades nominais com o isolamento de 40mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento na cobertura de 40mm
N_{ic} [kWh/m².ano]	76,96
N_i [kWh/m².ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m².ano]	6,72
N_c [kWh/m².ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m².ano]	8,90
N_a [kWh/m².ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m².ano]	3,76
N_t [kgep/m².ano]	8,04

Quadro II.4.11 – Eficiência energética com o isolamento de 40mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento na cobertura de 40mm
Razão (N_{ic}/N_i)	89,2%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,0%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,8%
Classe de eficiência energética	A

II.4.2.2 – Para a situação de 80mm de isolamento (MW) na Cobertura

Ø **Coefficientes de transmissão térmica da cobertura:**

$$U_{\text{Cobertura}} (\text{fluxo ascendente}) = 0,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{57}$$

Ø **Verificação dos requisitos mínimos:**

Quadro II.4.12 – Verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica superficial.

Elemento	U [W/(m ² ·°C)]	Umáx. [W/(m ² ·°C)]	Situação
Cobertura	0,42	1,25	ok

Ø **Perdas Térmicas:**

As pontes térmicas lineares e as pontes térmicas superficiais são as mesmas que as descritas no ponto I.4.4 deste trabalho

Ø **Verificação do RCCTE:**

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades da energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho, para a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores dos coeficientes de transmissão térmica da cobertura anteriormente determinados (ver ponto II.4.2.2 deste trabalho).

⁵⁷ ITE 50, Quadro II.19, LNEC [2]

Quadro II.4.13 – Necessidades nominais com o isolamento de 80mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento na cobertura de 80mm
N_{ic} [kWh/m².ano]	64,67
N_i [kWh/m².ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m².ano]	7,54
N_c [kWh/m².ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m².ano]	8,90
N_a [kWh/m².ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m².ano]	3,59
N_t [kgep/m².ano]	8,04

Quadro II.4.14 – Eficiência energética com o isolamento de 80mm na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento na cobertura de 80mm
Razão (N_{ic}/N_i)	74,9%
Razão (N_{vc}/N_v)	23,6%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	44,7%
Classe de eficiência energética	A

II.5. Eficiência Energética do Edifício com Diferentes Classes de Inércia Térmica, para a Fachada Principal Orientada a Sul

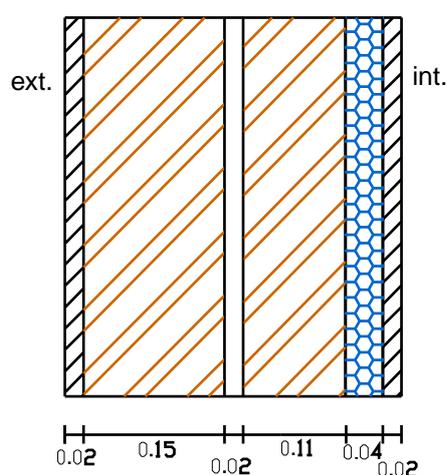
Neste ponto determina-se a eficiência energética do edifício correspondente às diferentes classes de inércia térmica: a inércia forte que é a situação real (determinada no ponto I.4.3 deste trabalho), a inércia média e a inércia fraca, para a fachada principal orientada a Sul, fazendo somente uma alteração no posicionamento do isolamento dos vários elementos construtivos, de forma a garantir as diferentes classes de inércia térmica.

II.5.1 – Classe de Inércia Térmica Média para a Fachada Principal Orientada a Sul

II.5.1.1 – Soluções Construtivas

Nas figuras que se seguem estão presentes os elementos construtivos da fracção autónoma em estudo que garantem uma classe de inércia térmica média. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são os mesmos que foram calculados no ponto I.4.1 deste trabalho, pois apesar dos isolamentos trocarem de posicionamento, tal não vai alterar em nada o valor dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos.

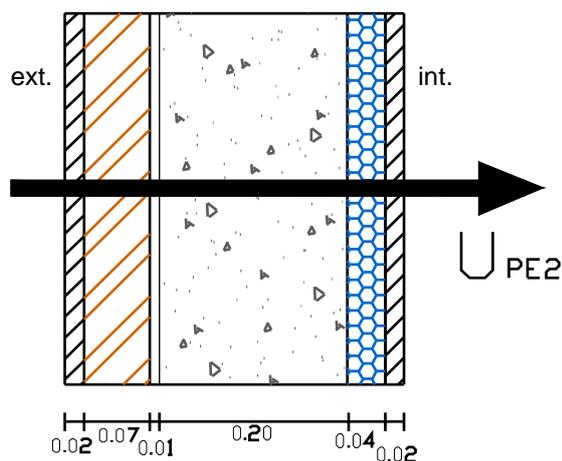
Ø Parede Exterior (PE1)



- Dois panos de alvenaria de tijolo furado normal, com 0,15m no pano exterior e 0,11m no pano interior.
- Caixa-de-ar com 0,02m de espessura.
- Isolamento em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) de 0,04m de espessura no pano interior.
- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.

Figura II.5.1 – Parede Exterior (PE1)

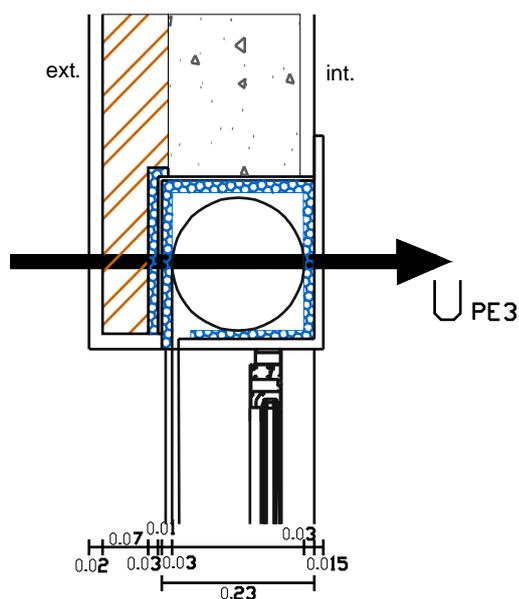
Ø Parede Exterior (PE2) – Pilar (Ponte térmica plana)



- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- Tijolo furado normal de 0,07m no pano exterior.
- Caixa-de-ar com 0,01m de espessura.
- Pilar de Betão Armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Isolamento em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura no pano interior.

Figura II.5.2 – Parede Exterior – Pilar (PE2)

Ø Parede Exterior (PE3) – Caixa de Estore (Ponte térmica plana)



- Caixa de estore com 0,23m de espessura total, constituída por uma caixa em poliestireno expandido extrudido (XPS) com paredes de 0,03m de espessura.
- No pano exterior possui 0,03m de poliestireno expandido extrudido, tijolo furado normal de 0,09m rebocado com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- No pano interior a caixa de estore possui uma forra em madeira com 0,015m de espessura.

Figura II.5.3 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)

Ø Parede Exterior (PE4) – Talão da Viga (Ponte térmica plana)

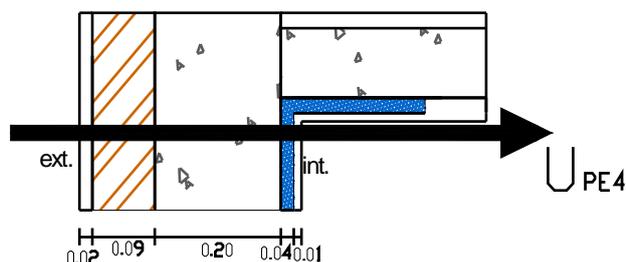


Figura II.5.4 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)

- Reboco na face exterior com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- Tijolo furado normal de 0,09m no pano exterior.
- Talão da viga de Betão Armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Isolamento no pano interior em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura.
- Reboco na face interior com uma argamassa de 0,01m de espessura.

Ø Parede de separação de fracções autónomas – Parede de Meação (PM)

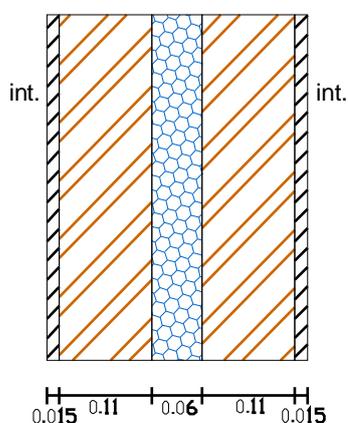


Figura II.5.5 – Parede de Meação (PM)

- Dois panos de tijolo furado normal de 0,11m (0,11m + 0,11m).
- Caixa-de-ar de 0,06m de espessura, totalmente preenchida com lã de rocha.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

Ø Parede Interior da fracção autónoma (PI)

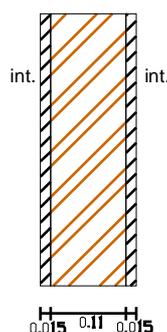
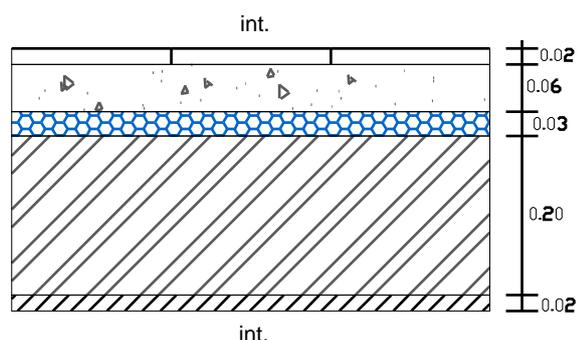


Figura II.5.6 – Parede Interior (PI)

- Pano de alvenaria de tijolo furado normal com 0,11m de espessura.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

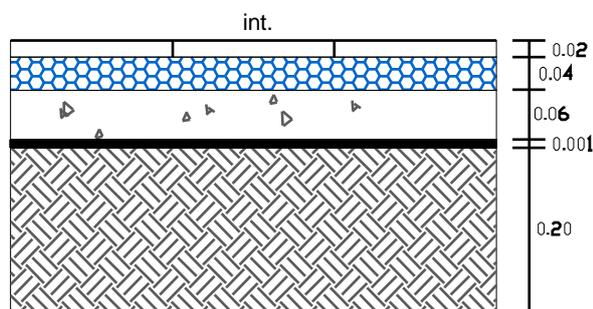
Ø Pavimento Intermédio (PavInt)



- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Isolamento térmico em lã de rocha com 0,03m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Figura II.5.7 – Pavimento Intermédio (PavInt)

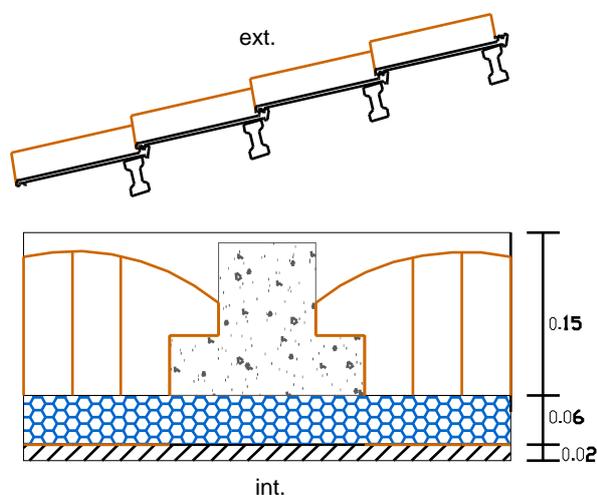
Ø Pavimento Térreo (PavTerr)



- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,04m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Brita com 0,20m de espessura.

Figura II.5.8 – Pavimento Térreo (PavTerr)

Ø Cobertura



- Telha assente sobre uma estrutura de suporte.
- Desvão ventilado não habitado.
- Esteira horizontal em laje aligeirada com 0,15m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Figura II.5.9 – Cobertura

Ø Terraço

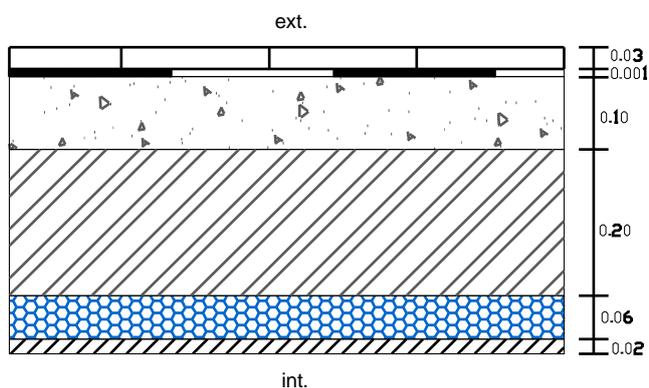


Figura II.5.10 – Terraço

- Protecção exterior em grés cerâmico com 0,03m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Camada de forma (betão leve) com 0,10m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

II.5.1.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3)

Os elementos construtivos cumprem os requisitos mínimos que constam no regulamento, pois os coeficientes de transmissão térmica mantêm-se os mesmos e os factores solares máximos admissíveis dos envidraçados são os mesmos para a Inércia Média (ver ponto I.4.2 deste trabalho).

II.5.1.3 – Inércia Térmica (I1,V3)

Quadro II.5.1 – Factores de correcção (r).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	R_j (m ² .°C)/W	r
Reboco + Isolamento XPS (PE1, PE2 e PE4)		0,06	1,10	0
Isolamento XPS + forra de madeira (PE3)		0,045	0,88	0
Reboco (PI; PM)	1,3	0,015	0,01	1
Grés Cerâmico + Isolamento XPS (PavTerr)		0,06	0,97	0
Grés Cerâmico (PavInt)	1,3	0,02	0,02	1
Reboco + Isolamento MW (Terraço)		0,08	1,44	0
Reboco + Isolamento MW (Cobertura)		0,08	1,52	0

Quadro II.5.2 – Cálculo da Inércia Térmica (I_t).

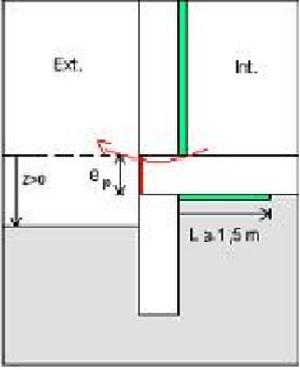
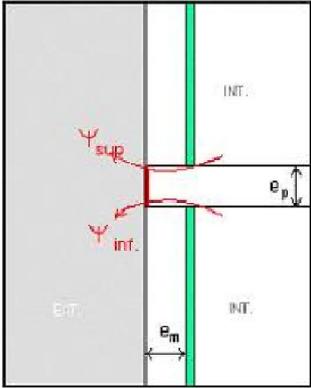
Elemento	M [kg/m ²]	M _{máx.} [kg/m ²]	M _{si} [kg/m ²]	S _i [m ²]	r	M _{si} *r*S _i [kg]
PE1	42	150	42	39,69	0	0
PE2	42	150	42	3,36	0	0
PE3	12	150	12	2,16	0	0
PE4	22	150	22	10,08	0	0
PM	286	150	150	80,80	1	12120
PI	170	300	170	56,90	1	9673
PavInt	669	300	300	43,34	1	13002
PavTerr	40	150	40	48,15	0	0
Cobertura	40	150	40	54,65	0	0
Terraço	40	150	40	3,15	0	0
Total:						34795
						/
Área útil do pavimento, A _p (m ²)						91,49
						=
Massa Superficial útil por m ² de área de pavimento, I _t (kg/m ²)						380,3
						Inércia Média⁵⁸

⁵⁸ Anexo VII – Quadro VII.6, RCCTE [1]

II.5.1.4 – Perdas Térmicas

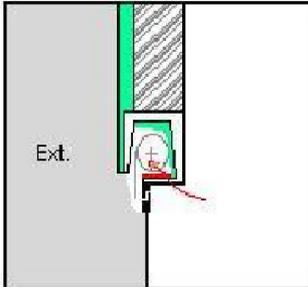
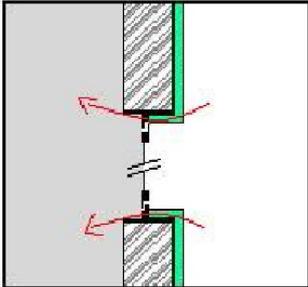
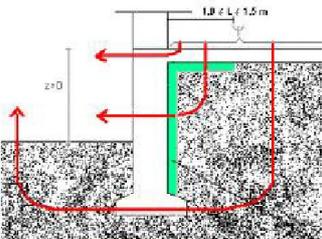
Ø Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)

Quadro II.5.3 – Coeficientes de transmissão térmica linear.

Descrição		59 (W/m.°C)
<p>Ligação da fachada com pavimentos térreos, em que o isolamento se encontra pelo interior.</p> <p>($0 < z < 0,40\text{m}$ e $e_p = 0,25\text{m}$)</p>		0,65
<p>Ligação da fachada com pavimentos intermédios, com isolamento pelo interior.</p> <p>($e_m = 0,30\text{m}$ e $e_p = 0,20\text{m}$)</p>		0,30
<p>Ligação da fachada com Cobertura Inclinada, com isolamento pelo interior da parede da fachada e isolamento pelo interior da cobertura.</p> <p>($e_p = 0,15\text{m}$)</p>	<p>Ponte térmica linear não considerada no RCCTE, pelo que se usa um valor convencional de</p>	0,50

⁵⁹ Todos os valores de foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

Quadro II.5.3 – Coeficientes de transmissão térmica linear (Continuação).

Descrição		60 (W/m.°C)
Ligação da fachada com caixa de estore, com isolante pelo exterior. Em que a caixa de estore é isolada com 30mm de poliestireno expandido extrudido ($R > 0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$).		0,00
Ligação fachada com padieira, ombreira ou peitoril, com isolamento pelo interior. ⁶¹		0,00
Pavimento em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral. ($0,05\text{m} < z < 0,150\text{m}$ e $R \geq 0,5$)		1,80

Ø Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)

As pontes térmicas planas são as mesmas que as que estão descritas no ponto I.4.4.2 deste trabalho, apesar do isolamento ter mudado de posicionamento o valor dos coeficientes de transmissão térmica não são alterados.

⁶⁰ Todos os valores de foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

⁶¹ Em paredes duplas considera-se que há continuidade do isolante térmico quando este for complanar com a caixilharia.

II.5.1.5 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho com a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores das pontes térmicas lineares anteriormente determinados (ponto II.5.1.4 deste trabalho). E o valor de $a=4,2$ para edifícios com inércia térmica forte é alterado para $a=2,6$ para edifícios com inércia térmica média (ver ponto 4.4 no anexo IV do RCCTE, [1]).

Quadro II.5.4 – Necessidades nominais com a classe de Inércia Térmica Média para a fachada principal orientada a Sul.

	Inércia Média ($I_t=380,3 \text{ kg/m}^2$)
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	70,68
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	8,23
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,69
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04

Quadro II.5.5 – Eficiência energética com a classe de Inércia Térmica Média com a fachada principal orientada a Sul.

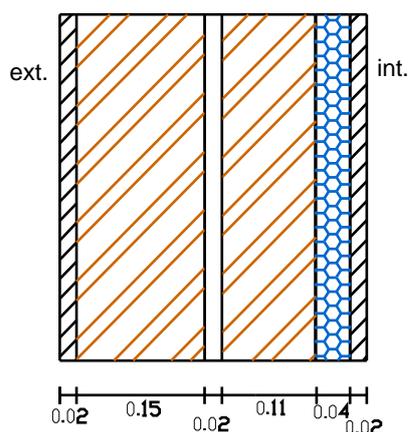
	Inércia Média ($I_t=380,3 \text{ kg/m}^2$)
Razão (N_{ic}/N_i)	81,9%
Razão (N_{vc}/N_v)	25,7%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,9%
Classe de eficiência energética	A

II.5.2 – Classe de Inércia Térmica Fraca para a Fachada Principal Orientada a Sul

II.5.2.1 – Soluções Construtivas

Nas figuras que se seguem estão presentes os elementos construtivos da fracção autónoma em estudo que garantem uma classe de inércia térmica fraca. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica são os mesmos que foram calculados no ponto I.4.1 deste trabalho, pois apesar dos isolamentos trocarem de posicionamento, tal não vai alterar em nada o valor dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos construtivos.

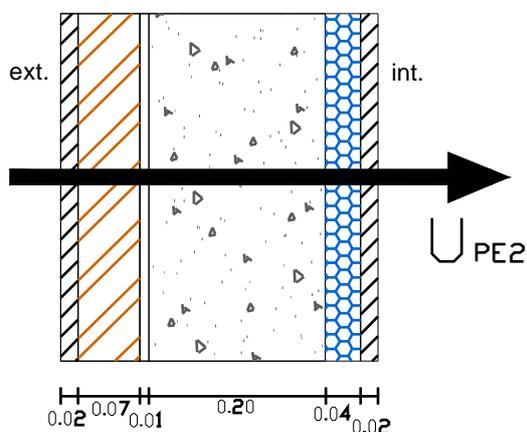
Ø Parede Exterior (PE1)



- Dois panos de alvenaria de tijolo furado normal, com 0,15m no pano exterior e 0,11m no pano interior.
- Caixa-de-ar com 0,02m de espessura.
- Isolamento em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) de 0,04m de espessura no pano interior.
- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.

Figura II.5.11 – Parede Exterior (PE1)

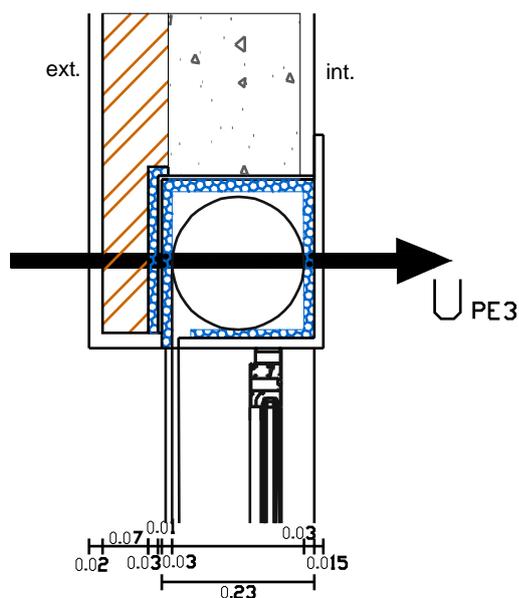
Ø Parede Exterior (PE2) – Pilar (Ponte térmica plana)



- Reboco em ambas as faces com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- Tijolo furado normal de 0,07m no pano exterior.
- Caixa-de-ar com 0,01m de espessura.
- Pilar de Betão Armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Isolamento em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura no pano interior.

Figura II.5.12 – Parede Exterior – Pilar (PE2)

Ø Parede Exterior (PE3) – Caixa de Estore (Ponte térmica plana)



- Caixa de estore com 0,23m de largura, constituída por uma caixa em poliestireno expandido extrudido (XPS) com paredes de 0,03m de espessura.
- No pano exterior possui 0,03m de poliestireno expandido extrudido, tijolo furado normal de 0,09m rebocado com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- No pano interior a caixa de estore possui uma forra em madeira com 0,015m de espessura.

Figura II.5.13 – Parede Exterior – Caixa de Estore (PE3)

Ø Parede Exterior (PE4) – Talão da Viga (Ponte térmica plana)

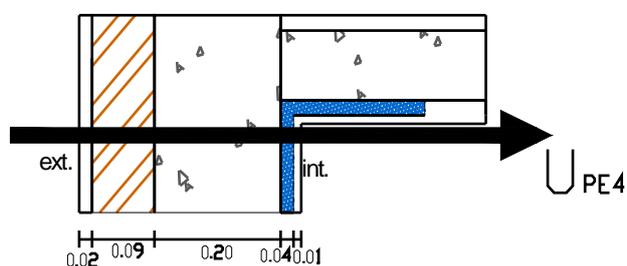
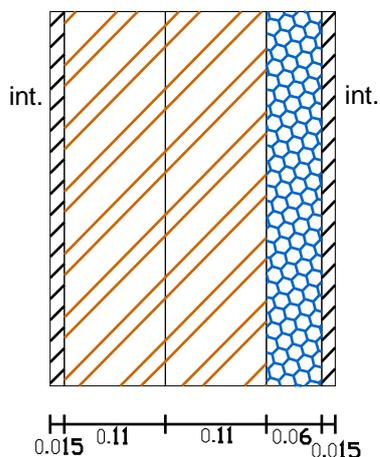


Figura II.5.14 – Parede Exterior – Talão da Viga (PE4)

- Reboco na face exterior com uma argamassa de 0,02m de espessura.
- Tijolo furado normal de 0,09m no pano exterior.
- Talão da viga de Betão Armado com 0,20m de espessura no pano interior.
- Isolamento no pano interior em placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) com 0,04m de espessura.
- Reboco na face interior com uma argamassa de 0,01m de espessura.

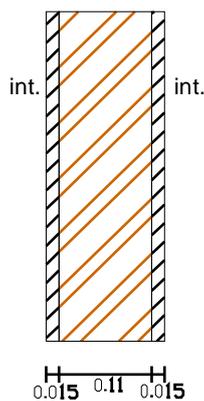
Ø Parede de separação de fracções autónomas – Parede de Meação (PM)



- Dois panos de tijolo furado normal de 0,11m (0,11m + 0,11m).
- Isolamento em lã de rocha com 0,06m de espessura no pano interior.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

Figura II.5.15 – Parede de Meação (PM)

Ø Parede Interior da fracção autónoma (PI)



- Pano de alvenaria de tijolo furado normal com 0,11m de espessura.
- Reboco em ambas as faces com argamassa de cimento com 0,015m de espessura.

Figura II.5.16 – Parede Interior (PI)

Ø Pavimento Intermédio (PavInt)

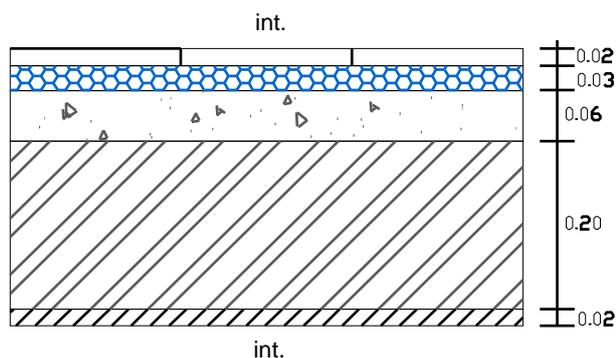


Figura II.5.17 – Pavimento Intermédio (PavInt)

- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Isolamento térmico em lã de rocha com 0,03m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Ø Pavimento Térreo (PavTerr)

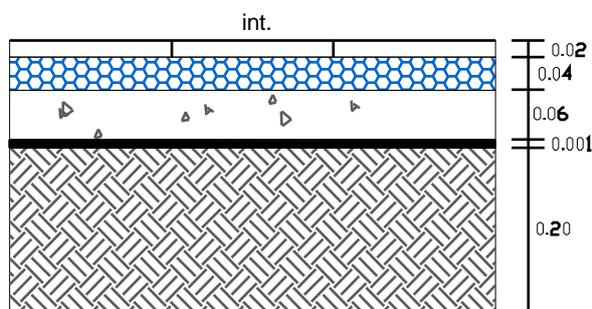


Figura II.5.18 – Pavimento Térreo (PavTerr)

- Revestimento de piso em grés cerâmico com 0,02m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,04m de espessura.
- Betonilha com 0,06m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Brita com 0,20m de espessura.

Ø Cobertura

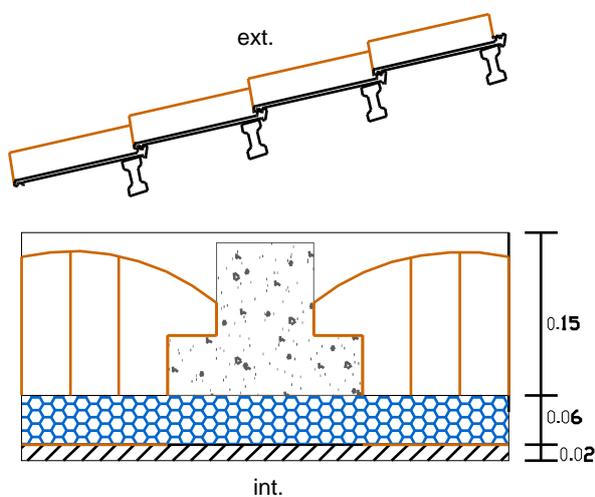


Figura II.5.19 – Cobertura

- Telha assente sobre uma estrutura de suporte.
- Desvão ventilado não habitado.
- Esteira horizontal em laje aligeirada com 0,15m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

Ø Terraço

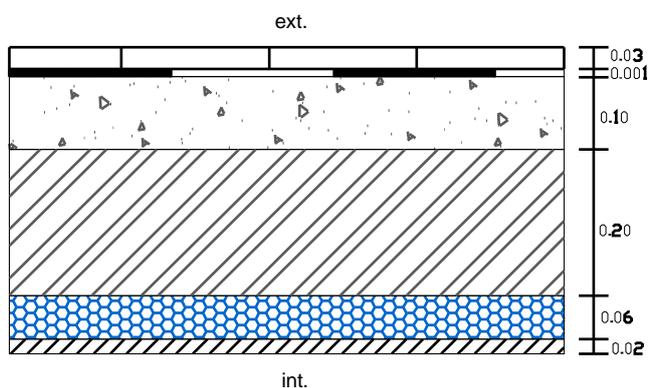


Figura II.5.20 – Terraço

- Protecção exterior em grés cerâmico com 0,03m de espessura.
- Filme de polietileno (impermeabilizante) com 0,001m de espessura.
- Camada de forma (betão leve) com 0,10m de espessura.
- Laje de Betão Armado com 0,20m de espessura.
- Isolamento térmico em Lã de Rocha com 0,06m de espessura.
- Revestimento de tecto em reboco com 0,02m de espessura.

II.5.2.2 – Verificação dos Requisitos Mínimos (I1,V3)

Os elementos construtivos cumprem os requisitos mínimos que constam no regulamento para os coeficientes de transmissão térmica superficial, pois estes mantêm-se os mesmos que no ponto I.4.2 deste trabalho.

No entanto não são cumpridos os requisitos mínimos para os factores solares dos envidraçados, apesar de todos os vãos envidraçados possuírem mais de 5% da área útil do espaço que servem, para a Inércia Fraca o regulamento não é cumprido.

Quadro II.5.6 – Factores solares dos envidraçados.

Elemento	g	g _{máx}	Situação
E1	0,3 ⁶²	0,1 ⁶³	Não cumpre!
E2	0,3 ⁶⁴	0,1 ⁶⁵	Não cumpre!

⁶² Valor calculado pelo ponto I.4.5.1 deste trabalho

⁶³ Anexo IX – Quadro IX.2, RCCTE [1]

⁶⁴ Valor calculado pelo ponto I.4.5.1 deste trabalho

⁶⁵ Anexo IX – Quadro IX.2, RCCTE [1]

II.5.2.3 – Inércia Térmica (I_i,V3)
Quadro II.5.7 – Factores de correcção (r).

Camada	W/(m.°C)	e (m)	R _j (m ² .°C)/W	r
Reboco + Isolamento XPS (PE1, PE2 e PE4)		0,06	1,10	0
Isolamento XPS + forra de madeira (PE3)		0,045	0,88	0
Reboco (PI)	1,3	0,015	0,01	1
Reboco + Isolamento MW (PM)		0,075	1,51	0
Grés Cerâmico + Isolamento XPS (PavTerr)		0,06	0,97	0
Grés Cerâmico + Isolamento MW (PavInt)		0,05	0,73	0
Reboco + Isolamento MW (Terraço)		0,08	1,44	0
Reboco + Isolamento MW (Cobertura)		0,08	1,52	0

Quadro II.5.8 – Cálculo da Inércia Térmica (I_i).

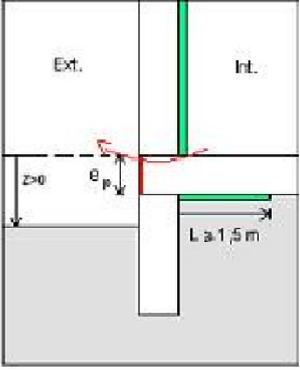
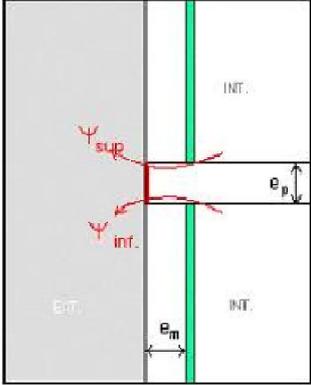
Elemento	M [kg/m ²]	M _{máx.} [kg/m ²]	M _{si} [kg/m ²]	S _i [m ²]	r	M _{si} *r*S _i [kg]
PE1	42	150	42	39,69	0	0
PE2	42	150	42	3,36	0	0
PE3	12	150	12	2,16	0	0
PE4	22	150	22	10,08	0	0
PM	286	150	150	80,80	0	0
PI	170	300	170	56,90	1	9673
PavInt	669	300	300	43,34	0	0
PavTerr	40	150	40	48,15	0	0
Cobertura	40	150	40	54,65	0	0
Terraço	40	150	40	3,15	0	0
Total:						9673
Área útil do pavimento, A _p (m ²)						91,49
=						
Massa Superficial útil por m ² de área de pavimento, I _i (kg/m ²)						105,7
Inércia Fraca ⁶⁶						

⁶⁶ Anexo VII – Quadro VII.6, RCCTE [1]

II.5.2.4 – Perdas Térmicas

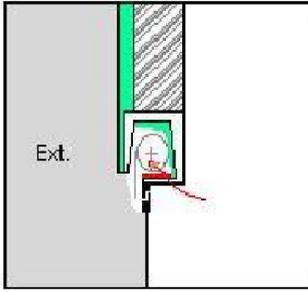
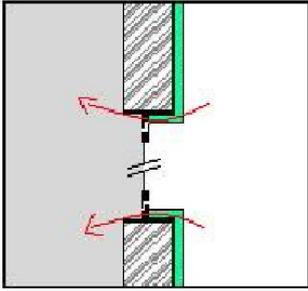
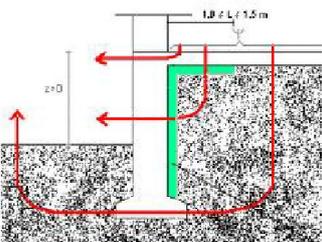
Ø Perdas Térmicas Lineares (Pontes Térmicas Lineares)

Quadro II.5.9 – Coeficientes de transmissão térmica linear.

Descrição		67 (W/m.°C)
<p>Ligação da fachada com pavimentos térreos, em que o isolamento se encontra pelo interior.</p> <p>($0 < z < 0,40\text{m}$ e $e_p = 0,25\text{m}$)</p>		0,65
<p>Ligação da fachada com pavimentos intermédios, com isolamento pelo interior.</p> <p>($e_m = 0,30\text{m}$ e $e_p = 0,20\text{m}$)</p>		0,30
<p>Ligação da fachada com Cobertura Inclinada, com isolamento pelo interior da parede da fachada e isolamento pelo interior da cobertura.</p> <p>($e_p = 0,15\text{m}$)</p>	<p>Ponte térmica linear não considerada no RCCTE, pelo que se usa um valor convencional de</p>	0,50

⁶⁷ Todos os valores de foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

Quadro II.5.9 – Coeficientes de transmissão térmica linear (Continuação).

Descrição		68 (W/m.°C)
<p>Ligação da fachada com caixa de estore, com isolante pelo exterior. Em que a caixa de estore é isolada com 30mm de poliestireno expandido extrudido ($R > 0,50 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$).</p>		0,00
<p>Ligação fachada com padieira, ombreira ou peitoril, com isolamento pelo interior.⁶⁹</p>		0,00
<p>Pavimento em contacto com o terreno com isolamento térmico perimetral. ($0,05\text{m} < z < 0,150\text{m}$ e $R \geq 0,5$)</p>		1,80

Ø **Perdas Térmicas Superficiais (Pontes Térmicas Planas)**

As pontes térmicas planas são as mesmas que as que estão descritas no ponto I.4.4.2 deste trabalho, apesar do isolamento ter mudado de posicionamento o valor dos coeficientes de transmissão térmica não são alterados.

⁶⁸ Todos os valores de foram determinados usando Tabela IV.3. do Anexo IV, RCCTE [1]

⁶⁹ Em paredes duplas considera-se que há continuidade do isolante térmico quando este for complanar com a caixilharia.

II.5.2.5 – Verificação do RCCTE

Para a determinação das necessidades nominais de aquecimento (N_i e N_{ic}), das necessidades nominais de arrefecimento (N_v e N_{vc}), das necessidades de energia para a preparação da água quente sanitária (N_a e N_{ac}) e das necessidades globais de energia primária (N_t e N_{tc}), utilizam-se as folhas de cálculo presentes no Anexo I deste trabalho com a fachada principal orientada a Sul, mas com novos valores das pontes térmicas lineares anteriormente determinados (ponto II.5.2.4 deste trabalho). E o valor de $a=4,2$ para edifícios com inércia térmica forte é alterado para $a=1,8$ para edifícios com inércia térmica fraca (ver ponto 4.4 no anexo IV do RCCTE, [1]).

Quadro II.5.10 – Necessidades nominais com a classe de Inércia Térmica Fraca para a fachada principal na orientada a Sul

	Inércia Fraca ($I_t=105,7 \text{ kg/m}^2$)
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,50
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	9,27
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04

Quadro II.5.11 – Eficiência energética com a classe de Inércia Térmica Fraca para a fachada principal na orientada a Sul

	Inércia Fraca ($I_t=105,7 \text{ kg/m}^2$)
Razão (N_{ic}/N_i)	84,0%
Razão (N_{vc}/N_v)	29,0%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,3%
Classe de eficiência energética	A



Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Parte III – Análise de Sensibilidade

Nesta parte efectua-se uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos nas Partes I e II, do estudo do comportamento térmico do edifício “caso”, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções (Sul, Norte, Este e Oeste), para os diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados com a fachada principal orientada nas diferentes direcções, para as diferentes áreas de envidraçado com a fachada principal orientada nas diferentes direcções, para as diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores e na cobertura com a fachada principal orientada a Sul e para as diferentes classes de inércia térmica com a fachada principal orientada a Sul.

III.1. Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções

Quadro III.1.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

	Sul (Real)	Norte	Este	Oeste
N_{ic} [kWh/m².ano]	69,27	72,94	73,26	72,94
N_i [kWh/m².ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m².ano]	7,23	7,00	12,08	12,05
N_c [kWh/m².ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m².ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m².ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m².ano]	3,66	3,71	3,76	3,76
N_t [kgep/m².ano]	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	80,3%	84,5%	84,9%	84,5%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,6%	21,9%	37,8%	37,7%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,5%	46,1%	46,8%	46,8%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

Diferentes Orientações

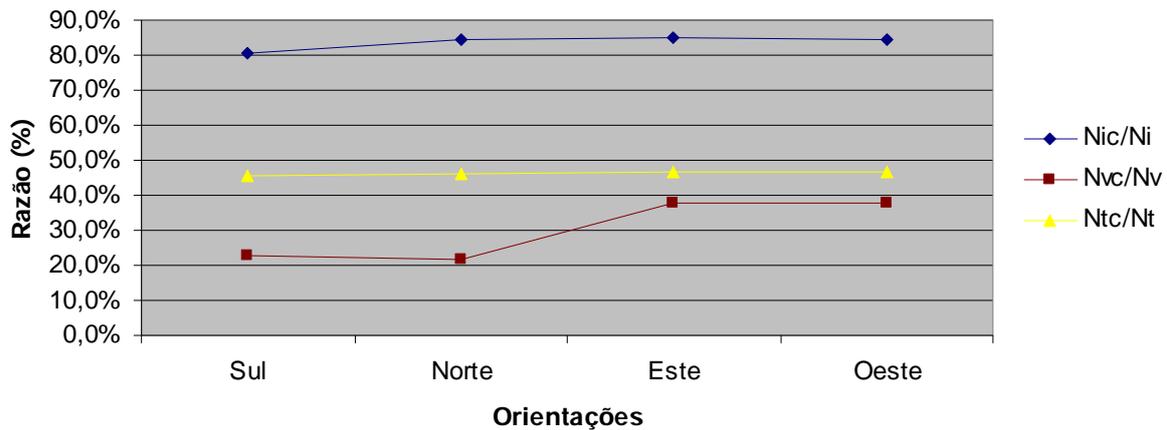


Gráfico III.1.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Existem maiores necessidades de aquecimento do que de arrefecimento para o edifício “caso”. No entanto, existem maiores necessidades de arrefecimento se o edifício tiver fachada principal orientada a Este e Oeste, pois os envidraçados passam a estar nas direcções Este e Oeste (ver quadro III.1.1).

A situação real com a fachada principal orientada a Sul é a mais favorável possuindo uma melhor eficiência energética, seguidamente com a fachada principal orientada a Norte, e por fim a Este e a Oeste (ver gráfico III.1.1). Note-se que a área dos vãos envidraçados da fachada principal, no edifício estudado, é menor do que a área dos vãos envidraçados da fachada posterior. Pelo que, é mais favorável construir no concelho de Évora com a fachada principal orientada a Sul ou a Norte, desde que os vãos envidraçados se situem apenas nas fachadas principal e posterior, e que possuam áreas sensivelmente iguais.

III.2. Diferentes Tipos de Sombreamentos dos Vãos Envidraçados para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções

Para os vãos envidraçados situados na fachada principal, foram considerados vários ângulos de obstrução, provocados por elementos horizontais de sombreamento.

Quadro III.2.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Sul.

	0° (Real)	30°	45°	60°
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	69,27	72,09	73,57	74,59
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,23	6,29	6,10	6,04
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,66	3,69	3,71	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	80,3%	83,5%	85,2%	86,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,6%	19,7%	19,1%	18,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,5%	45,9%	46,1%	46,3%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

Quadro III.2.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Norte.

	0°	30°	45°	60°
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,94	72,94	72,94	72,94
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,00	6,96	6,93	6,87
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,71	3,71	3,71	3,71
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	84,5%	84,5%	84,5%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,9%	21,8%	21,7%	21,5%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,1%	46,1%	46,1%	46,1%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

Quadro III.2.3 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Este.

	0°	30°	45°	60°
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	73,26	73,86	74,21	74,60
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	12,08	10,92	10,40	10,00
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,76	3,76	3,76	3,76
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	84,9%	85,6%	86,0%	86,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	37,8%	34,1%	32,5%	31,3%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,8%	46,8%	46,8%	46,8%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

Quadro III.2.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes tipos de sombreamento dos vãos envidraçados para a fachada principal orientada a Oeste.

	0°	30°	45°	60°
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,94	73,59	73,98	74,39
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	12,05	10,90	10,39	9,98
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,75	3,75	3,75	3,75
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	85,3%	85,7%	86,2%
Razão (N_{vc}/N_v)	37,7%	34,1%	32,5%	31,2%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,6%	46,6%	46,6%	46,6%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A

Diferentes Sombreamentos (N_{ic})

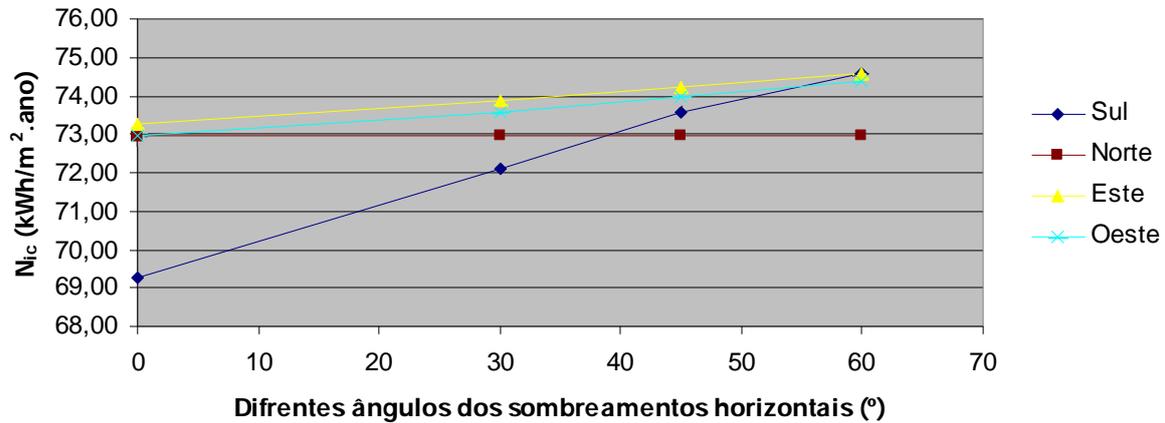


Gráfico III.2.1 – Necessidades nominais de aquecimento (Inverno) do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Sombreamentos (N_{vc})

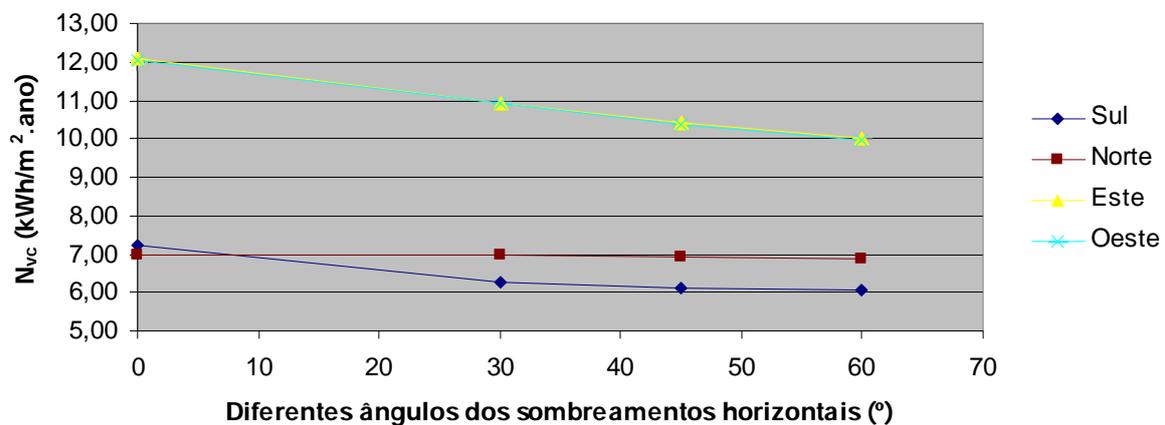


Gráfico III.2.2 – Necessidades nominais de arrefecimento (Verão) do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Sombreamentos (N_{tc})

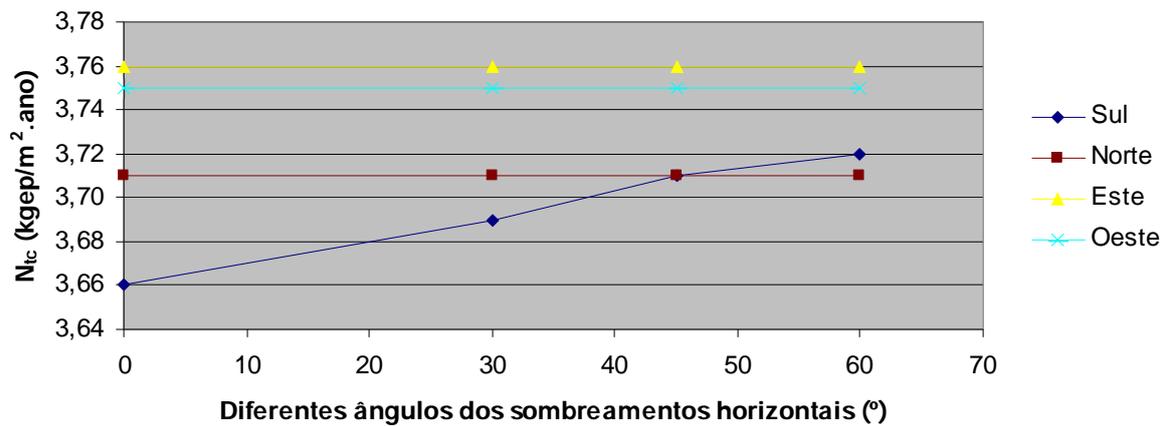


Gráfico III.2.3 – Necessidades globais de energia primária do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Sombreamentos (N_{tc}/N_t)

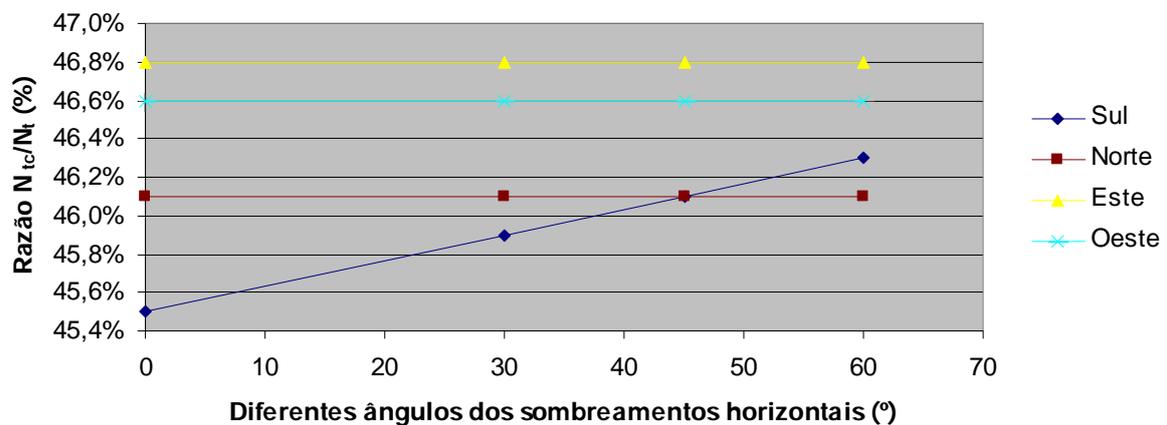


Gráfico III.2.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, em função do sombreamento dos vãos envidraçados da fachada principal, com esta orientada nas diferentes direcções.

De uma forma geral, quanto maior é o ângulo de sombreamento provocado pelas palas horizontais nos vãos envidraçados, maiores são as necessidades nominais de aquecimento e menores as necessidades nominais de arrefecimento (ver gráficos III.2.1, III.2.2). A excepção ocorre para a fachada principal orientada a Norte. Neste caso, a alteração do sombreamento dos vãos envidraçados situados na fachada principal não provoca alteração das necessidades nominais de aquecimento. Mesmo para a situação de Verão as necessidades de arrefecimento para a fachada principal orientada a Norte não diminuem em quase nada com o aumento do ângulo dos sombreamentos horizontais dos vãos envidraçados, pelo que, efectivamente, se conclui que não é necessário, de todo, o uso de sombreamentos nos vãos envidraçados orientados a Norte.

No entanto, para a fachada principal orientada a Sul para um sombreamento de até sensivelmente, 30° , as necessidades nominais de aquecimento são menores do que para a fachada principal orientada a Norte, a Este ou a Oeste (ver gráfico III.2.1), pois é a Sul onde o edifício obtém maiores ganhos solares e uma pala de 30° não vai interferir nesses mesmos ganhos, pois tendo em conta a geometria de insolação é na estação de aquecimento onde o ângulo de incidência solar é menor.

E para a fachada principal com sombreamentos orientada a Sul e a Norte as necessidades nominais de arrefecimento são menores que para a fachada principal com sombreamentos orientada a Este e a Oeste (ver gráfico III.2.2).

Quanto maior é o ângulo de sombreamento provocado pelas palas horizontais nos vãos envidraçados, pior é a eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul e não alterando em nada a eficiência energética do edifício para as fachadas principais orientadas a Norte, Este e Oeste (ver gráfico III.2.4 deste trabalho).

Com base nos factores solares de sombreamento por elementos horizontais constantes no RCCTE, verifica-se que a existência de palas horizontais em vãos envidraçados, vão ter como consequência maiores necessidades nominais de energia útil para climatização (ver gráfico III.2.1).

Atendendo à geometria da insolação, seria de esperar que, para pequenos ângulos de obstrução, o impacto da existência de palas horizontais fosse muito maior durante a estação de arrefecimento, do que durante a estação de aquecimento [8]. Por este facto se sugere que seja estudado o factor solar de sombreamento por elementos horizontais para ângulos inferiores a 30° , e que uma próxima revisão do RCCTE incorpore esses valores.

III.3. Diferentes Áreas de Envidraçado para a Fachada Principal Orientada nas Diferentes Direcções

Para os vãos envidraçados situados na fachada principal, foram consideradas várias áreas de envidraçados.

Quadro III.3.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Sul.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	70,31	69,79	69,27	68,76	68,26
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	6,79	7,01	7,23	7,45	7,67
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,67	3,66	3,66	3,65	3,65
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	81,5%	80,9%	80,3%	79,8%	79,1%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,2%	21,9%	22,6%	23,3%	24,0%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,6%	45,5%	45,5%	45,4%	45,4%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

Quadro III.3.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Norte.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,19	72,56	72,94	73,31	73,69
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	6,66	6,83	7,00	7,17	7,34
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,69	3,70	3,71	3,71	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	83,7%	84,1%	84,5%	84,9%	85,4%
Razão (N_{vc}/N_v)	20,8%	21,3%	21,9%	22,4%	22,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,9%	46,0%	46,1%	46,1%	46,3%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

Quadro III.3.3 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal, com esta orientada a Este.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,91	73,08	73,26	73,43	73,61
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	11,06	11,57	12,08	12,59	13,10
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,75	3,75	3,76	3,77	3,78
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	84,5%	84,7%	84,9%	85,1%	85,3%
Razão (N_{vc}/N_v)	34,6%	36,2%	37,8%	39,3%	40,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,6%	46,6%	46,8%	46,9%	47,0%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

Quadro III.3.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Oeste.

	Menos 30% da Área dos Envidraçados Real	Menos 15% da Área dos Envidraçados Real	Área dos Envidraçados Real	Mais 15% da Área dos Envidraçados Real	Mais 30% da Área dos Envidraçados Real
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	72,69	72,81	72,94	73,06	73,19
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	11,04	11,54	12,05	12,55	13,06
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,74	3,75	3,76	3,76	3,77
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	84,2%	84,4%	84,5%	84,7%	84,8%
Razão (N_{vc}/N_v)	34,5%	36,1%	37,7%	39,2%	40,8%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,5%	46,6%	46,8%	46,8%	46,9%
Classe de eficiência energética	A	A	A	A	A

Diferentes Áreas de Envidraçado (N_{ic})

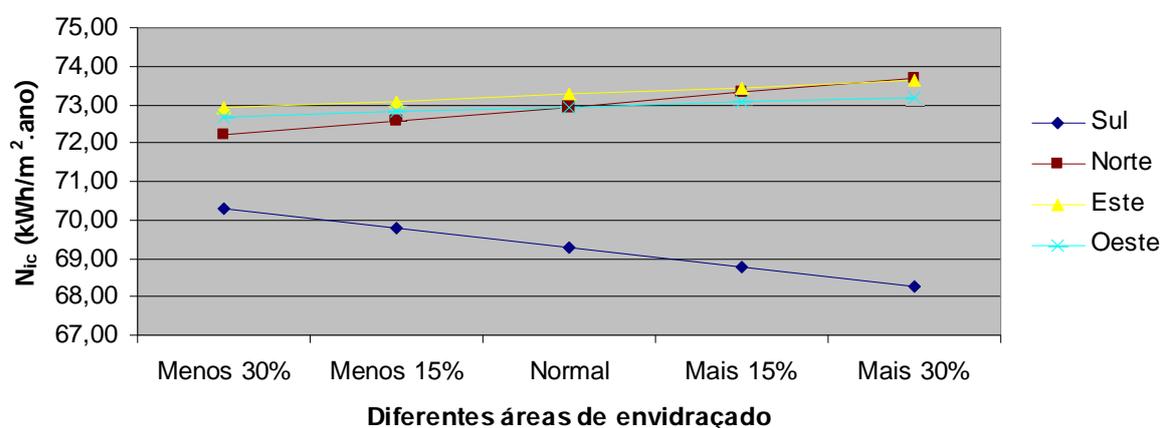


Gráfico III.3.1 – Necessidades nominais de aquecimento (Inverno) do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Áreas de Envidraçado (N_{vc})

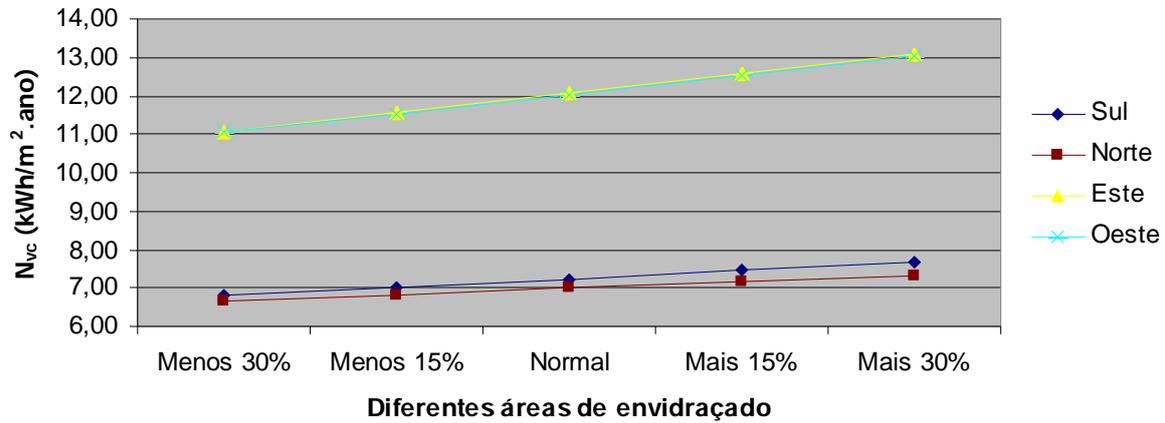


Gráfico III.3.2 – Necessidades nominais de arrefecimento (Verão) do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Áreas de Envidraçado (N_{tc})

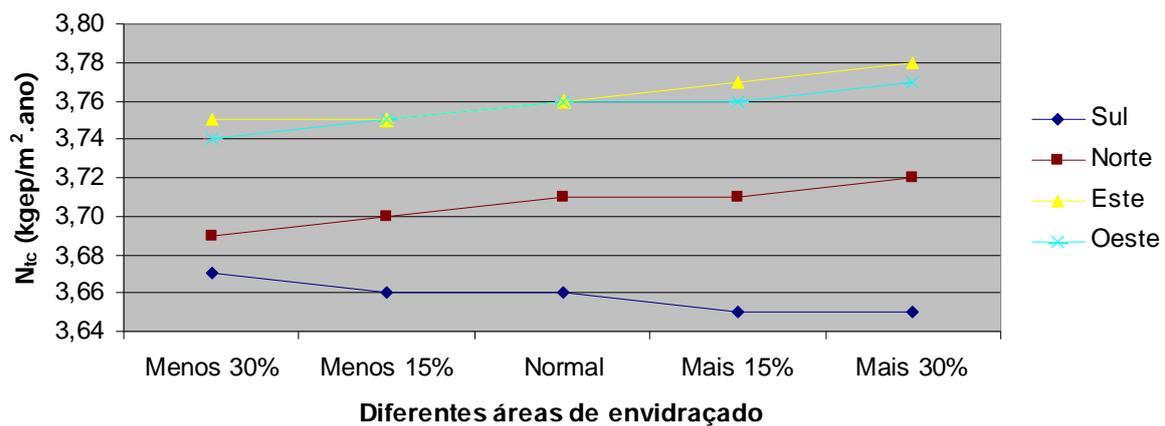


Gráfico III.3.3 – Necessidades globais de energia primária do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

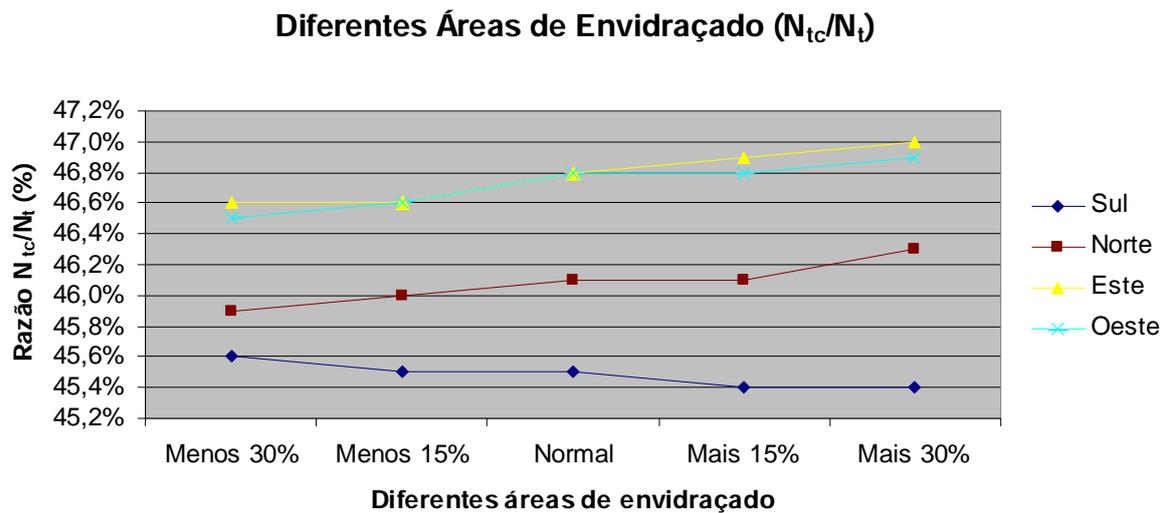


Gráfico III.3.4 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

De uma forma geral, quanto maior for a área dos vãos envidraçados, maiores serão as necessidades nominais de aquecimento (à excepção da fachada principal orientada a Sul) e maiores as necessidades nominais de arrefecimento (ver gráficos III.3.1 e III.3.2).

Embora quanto maior for a área dos vãos envidraçados maiores as necessidades nominais de arrefecimento para todas as orientações, para a fachada principal orientada a Sul e a Norte as necessidades de arrefecimento são menores que para a fachada principal orientada a Este e Oeste (ver gráfico III.3.2).

Quanto maior for a área dos vãos envidraçados, pior será a eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada nas diferentes direcções (à excepção da fachada principal orientada a Sul), pelo que não se aconselha a construção de edifícios no concelho de Évora com fachadas com grandes áreas de envidraçados, isto se as fachadas com envidraçados estiverem nas orientações Norte, Este, Oeste (ver gráfico III.3.4).

Para todas as orientações, excepto para a orientação Sul, verifica-se que quanto maior for a área dos envidraçados, maiores serão as necessidades nominais de aquecimento. Para podermos encontrar a explicação para tal facto é necessário uma análise, mais pormenorizada e em separado, das necessidades brutas de aquecimento e dos ganhos totais úteis do edifício “caso” para todas as orientações.

Quadro III.3.5 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Sul.

	Menos 30%	Menos 15%	Normal	Mais 15%	Mais 30%
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9128,83	9225,67	9322,51	9419,34	9516,18
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	2695,83	2840,41	2984,58	3128,28	3271,53
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6433,00	6385,26	6337,93	6291,06	6244,65

Quadro III.3.6 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Norte.

	Menos 30%	Menos 15%	Normal	Mais 15%	Mais 30%
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9128,83	9225,67	9322,51	9419,34	9516,18
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	2524,36	2587,00	2649,62	2712,19	2774,74
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6604,47	6638,67	6672,89	6707,15	6741,44

Quadro III.3.7 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Este.

	Menos 30%	Menos 15%	Normal	Mais 15%	Mais 30%
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9128,83	9225,67	9322,51	9419,34	9516,18
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	2458,06	2539,16	2620,20	2701,15	2782,04
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6670,77	6686,51	6702,31	6718,19	6734,14

Quadro III.3.8 – Necessidades brutas de aquecimento, dos ganhos úteis de aquecimento e das necessidades de aquecimento do edifício “caso”, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada a Oeste.

	Menos 30%	Menos 15%	Normal	Mais 15%	Mais 30%
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	9128,83	9225,67	9322,51	9419,34	9516,18
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano)	2478,68	2564,12	2649,48	2734,74	2819,92
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	6650,15	6661,55	6673,03	6684,60	6696,26

Diferentes Áreas de Envidraçado - Necessidades Brutas de Aquecimento

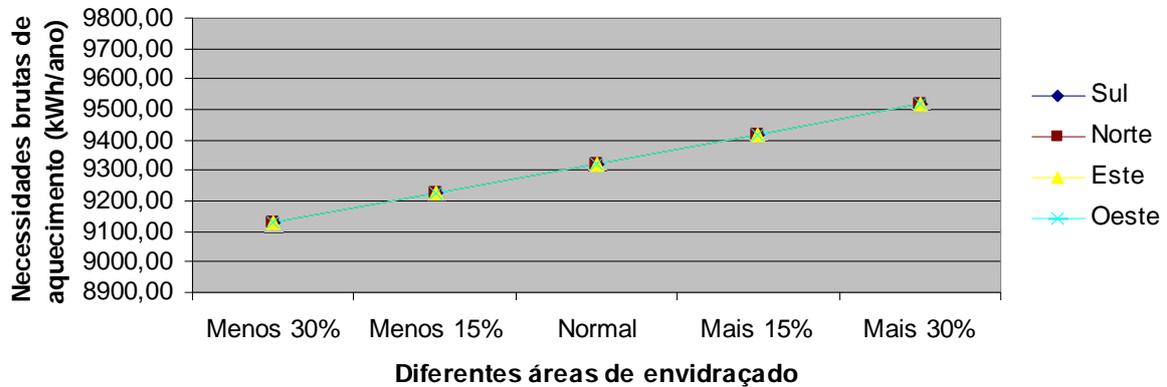


Gráfico III.3.5 – Necessidades brutas de aquecimento, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Áreas de Envidraçado - Ganhos Totais Úteis

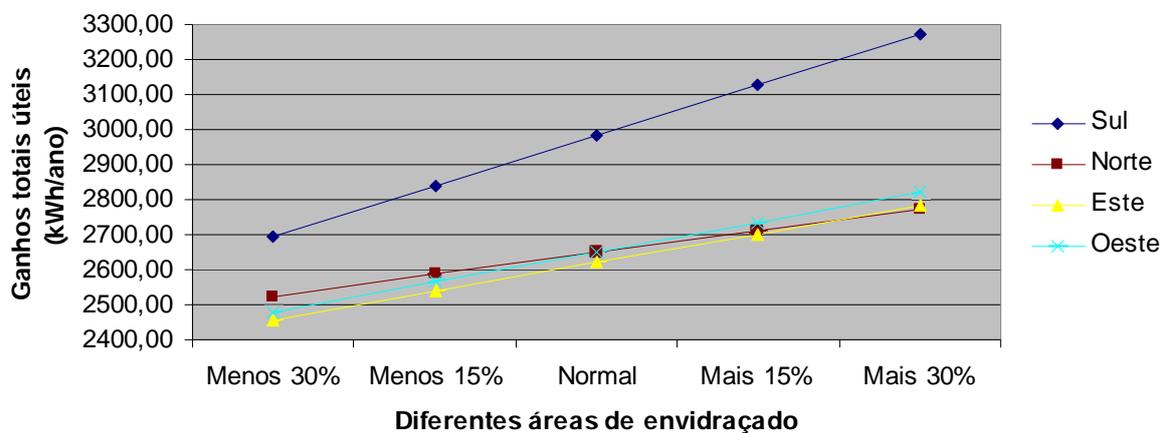


Gráfico III.3.6 – Ganhos totais úteis, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Diferentes Áreas de Envidraçado - Necessidades de Aquecimento

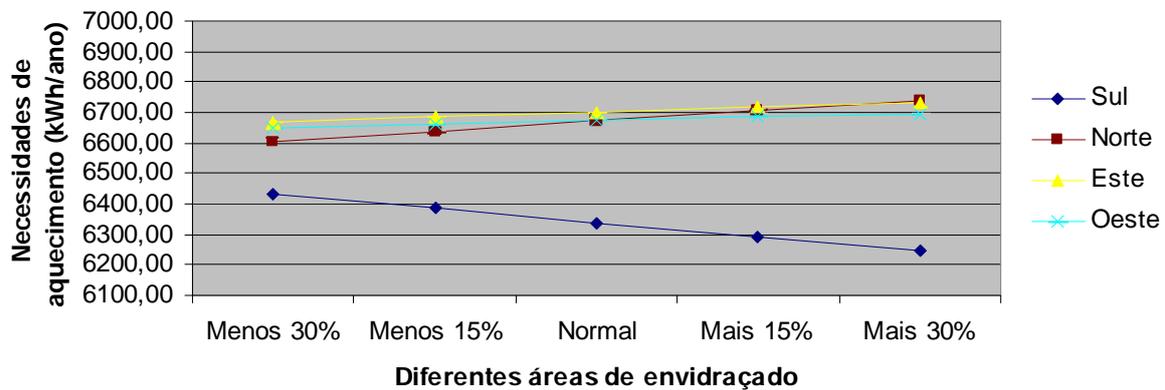


Gráfico III.3.7 – Necessidades de aquecimento, com diferentes áreas de envidraçado para a fachada principal orientada nas diferentes direcções.

Após a análise dos gráficos III.3.5, III.3.6 e III.3.7, conclui-se que:

- As necessidades brutas de aquecimento são as mesmas em todas as orientações, sendo que quanto maior for a área de envidraçado maiores serão as necessidades brutas de aquecimento (ver gráfico III.3.5 deste trabalho);

- Os ganhos totais úteis são tanto maiores quanto maior for a área dos envidraçados. No entanto, a fachada principal orientada a Sul regista maiores ganhos totais úteis do que as fachadas principais orientadas a Norte, Este e Oeste (ver gráfico III.3.6 deste trabalho);

- As necessidades nominais de aquecimento são maiores quanto maior for a área dos vãos envidraçados para as fachadas principais orientadas a Norte, Este e Oeste e são menores quando a fachada principal se encontra orientada a Sul (ver gráfico III.3.7).

Assim, pode concluir-se que, apesar das necessidades brutas serem as mesmas em todas as orientações, o facto da fachada principal orientada a Sul possuir maiores ganhos totais úteis do que as outras orientações, faz com que esta orientação implique menores necessidades de aquecimento do que as outras orientações. Isto verifica-se para as diferentes áreas de envidraçado que foram consideradas.

Pelo exposto, conclui-se que no concelho de Évora se melhora a eficiência energética do edifício desde que se aumente a área de vãos envidraçados orientados a Sul, pelo menos até ao limite estudado de 24 %⁷⁰ de área de envidraçado.

⁷⁰ Este valor é o quociente entre a área total de envidraçados a Sul (para o caso de mais 30% da área do envidraçado real) e a área total da fachada a Sul (para o caso de mais 30% da área do envidraçado real) a multiplicar por 100%.

III.4. Diferentes Espessuras de Isolamento Térmico para a Fachada Principal Orientada a Sul

Para a situação da fachada principal orientada a Sul (situação real), foram consideradas diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exterior e diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura.

Quadro III.4.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento 30mm	Isolamento 40mm (Real)	Isolamento 60mm
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	70,89	69,27	67,13
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,15	7,23	7,34
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,68	3,66	3,63
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	82,1%	80,3%	77,8%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,3%	22,6%	22,9%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,8%	45,5%	45,1%
Classe de eficiência energética	A	A	A

Diferentes Espessuras de Isolamento das Paredes Exteriores

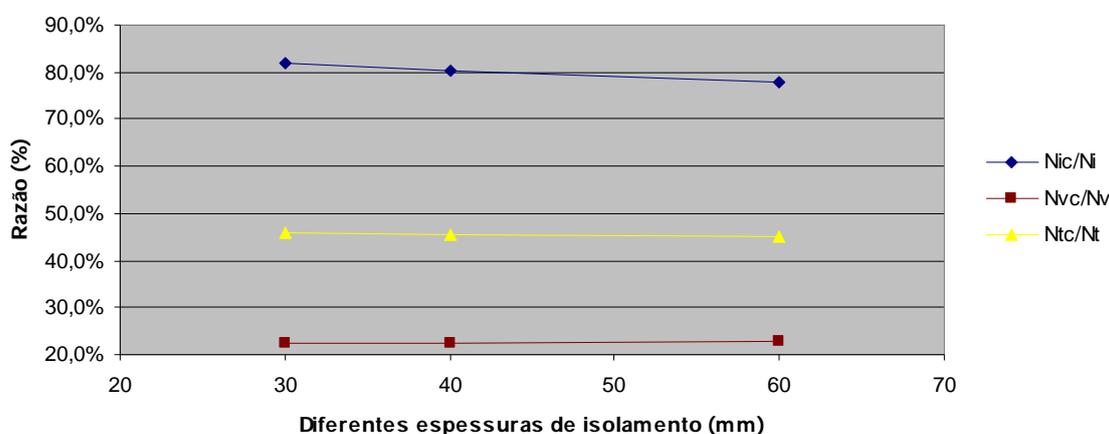


Gráfico III.4.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores para a fachada principal orientada a Sul.

Quadro III.4.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura para a fachada principal orientada a Sul.

	Isolamento 40mm	Isolamento 60mm (Real)	Isolamento 80mm
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	76,96	69,27	64,67
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	6,72	7,23	7,54
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,76	3,66	3,59
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	89,2%	80,3%	74,9%
Razão (N_{vc}/N_v)	21,0%	22,6%	23,6%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	46,8%	45,5%	44,7%
Classe de eficiência energética	A	A	A

Diferentes Espessuras de Isolamento da Cobertura

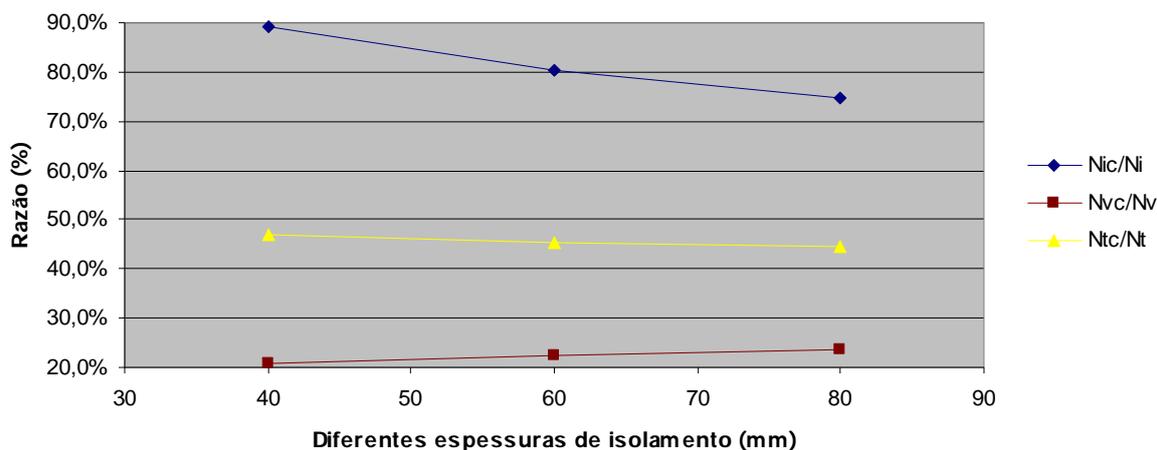


Gráfico III.4.2 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura para a fachada principal orientada a Sul.

Quanto maior é a espessura do isolamento térmico nas paredes exteriores do edifício “caso” para a fachada principal orientada a Sul, menores são as necessidades nominais de aquecimento e maiores as necessidades nominais de arrefecimento. Sendo que, quanto maior é a espessura do isolamento térmico nas paredes exteriores, melhor é a eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul (ver quadro III.4.1 e gráfico III.4.1).

Em relação à cobertura, verifica-se que quanto maior é a espessura do isolamento térmico, menores são as necessidades nominais de aquecimento, maiores as necessidades nominais de arrefecimento e melhor é a eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul (ver quadro III.4.2 e gráfico III.4.2).

No entanto, é necessário avaliar onde é que ocorrem maiores perdas térmicas na envolvente exterior, para saber onde é mais eficaz aumentar a espessura do isolamento térmico.

Quadro III.4.3 – Perdas térmicas do edifício “caso” para a fachada principal orientada a Sul (situação real).

	Perdas Térmicas (W/°C)
Envolvente Exterior	99,16
Envolvente Interior	48,59
Vãos Envidraçados	49,58
Renovação de Ar	82,12

Perdas Térmicas

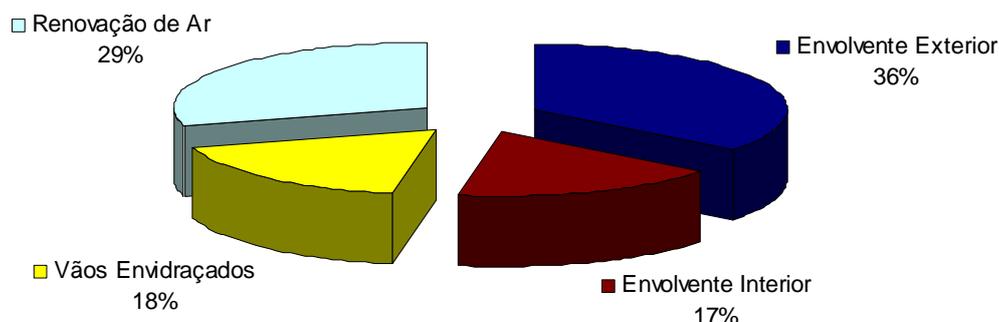


Gráfico III.4.3 – Perdas térmicas do edifício “caso” para a fachada principal orientada a Sul (situação real).

Quadro III.4.4 – Perdas associadas à envolvente exterior para a fachada principal orientada a Sul (situação real).

	Perdas Térmicas da Envolvente Exterior (W/°C)
Paredes Exteriores	18,65
Coberturas Exteriores	31,05
Pavimentos em Contacto Com o Solo	24,75
Pontes Térmicas Lineares	14,60
Pontes Térmicas Planas	10,10

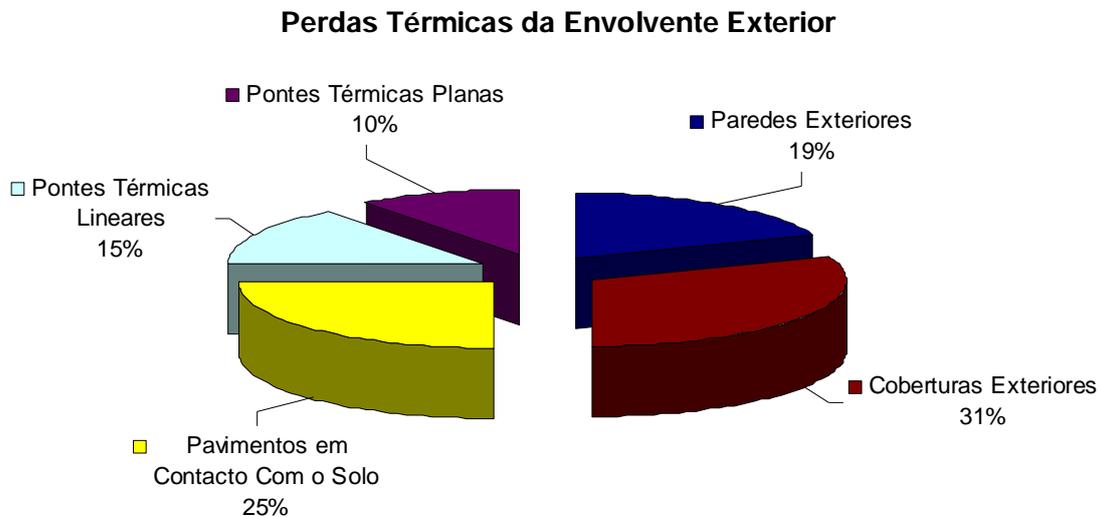


Gráfico III.4.4 – Perdas associadas à envolvente exterior para a fachada principal orientada a Sul (situação real).

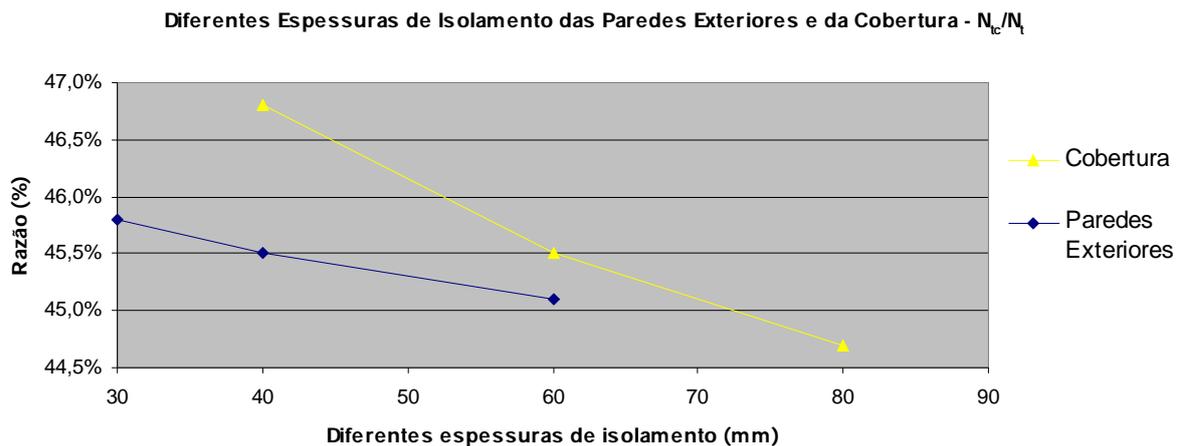


Gráfico III.4.5 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores e diferentes espessuras de isolamento térmico na cobertura, para a fachada principal orientada a Sul.

Com a análise do gráfico III.4.3 conclui-se que onde ocorrem maiores perdas térmicas no edifício “caso” é através da envolvente exterior, pelo que, tudo indica que é aí onde se devem diminuir essas perdas, caso seja necessário aumentar a eficiência energética do edifício. Uma das formas de diminuir essas perdas é através do aumento da espessura do isolamento térmico nos elementos da envolvente exterior (paredes exteriores, coberturas exteriores, pavimentos exteriores, ...).

Aumentando a espessura dos isolamentos térmicos nas paredes exteriores ou na cobertura, obtém-se uma diminuição das perdas térmicas do edifício e um consequente aumento da eficiência energética do mesmo.

Conclui-se que no concelho de Évora se deve construir com maiores espessuras de isolamento térmico nas paredes exteriores e maiores espessuras de isolamento térmico na cobertura. No entanto, o aumento da espessura de isolamento térmico na cobertura melhora muito mais a eficiência energética do edifício, do que se aumentarmos a espessura do isolamento térmico nas paredes exteriores, pois as perdas térmicas são muito maiores na cobertura do que nas paredes exteriores (ver quadro III.4.4 e gráficos III.4.4 e III.4.5 deste trabalho), isto só se verifica para edifícios que possuam as mesmas características do edifício “caso”.

III.5. Diferentes Classes de Inércia Térmica para a Fachada Principal Orientada a Sul

Para a situação da fachada principal orientada a Sul (situação real), foram consideradas diferentes classes de inércia térmica (inércia forte, média e fraca).

Quadro III.5.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes classes de Inércia Térmica para a fachada principal orientada a Sul.

	Inércia Forte ($I_t=624,6 \text{ kg/m}^2$) (Real)	Inércia Média ($I_t=380,3 \text{ kg/m}^2$)	Inércia Fraca ($I_t=105,7 \text{ kg/m}^2$)
N_{ic} [kWh/m ² .ano]	69,27	70,68	72,50
N_i [kWh/m ² .ano]	86,30	86,30	86,30
N_{vc} [kWh/m ² .ano]	7,23	8,23	9,27
N_c [kWh/m ² .ano]	32,00	32,00	32,00
N_{ac} [kWh/m ² .ano]	8,90	8,90	8,90
N_a [kWh/m ² .ano]	51,70	51,70	51,70
N_{tc} [kgep/m ² .ano]	3,66	3,69	3,72
N_t [kgep/m ² .ano]	8,04	8,04	8,04
Razão (N_{ic}/N_i)	80,3%	81,9%	84,0%
Razão (N_{vc}/N_v)	22,6%	25,7%	29,0%
Razão (N_{ac}/N_a)	17,2%	17,2%	17,2%
Razão (N_{tc}/N_t)	45,5%	45,9%	46,3%
Classe de eficiência energética	A	A	A

Diferentes Classes de Inércia Térmica

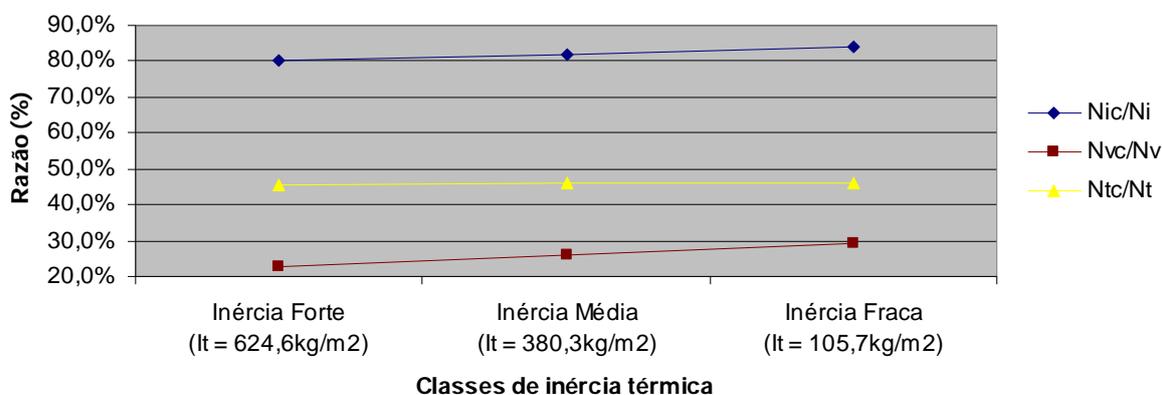


Gráfico III.5.1 – Eficiência energética do edifício “caso”, com diferentes classes de Inércia Térmica para a fachada principal orientada a Sul.

Quanto mais fraca é a inércia térmica do edifício objecto de estudo, para a fachada principal orientada a Sul, maiores são as necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento e pior é a eficiência energética do edifício.

Conclui-se que, no concelho de Évora, se deve construir com uma inércia térmica forte para garantir uma maior eficiência energética do edifício. Assim, posicionar os isolamentos térmicos pelo interior dos elementos da envolvente não é a melhor opção, porque a consequente redução de inércia térmica do edifício piora a eficiência energética do mesmo.





Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Conclusões

Em Portugal, em 2005, os edifícios foram responsáveis pelo consumo de 5,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, representando cerca de 30% do consumo total de energia primária do país e 62% do consumo de electricidade [10].

Para além do custo directo de tal consumo de energia, são relevantes os inerentes custos ambientais. Parte significativa da energia é obtida a partir da queima de combustíveis fósseis, o que estão a provocar alterações climáticas perigosas.

Assim sendo, o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril de 2006) com o intuito de melhorar a eficiência energética dos edifícios em Portugal, veio definir novas estratégias, desde o recurso a sistemas de colectores solares para aquecimento de águas sanitárias, até à melhoria da envolvente do edifício, tendo em conta o impacto desta nos consumos para climatização (aquecimento e arrefecimento). A aplicação do RCCTE faculta, nomeadamente, uma análise pormenorizada das necessidades em energia útil para aquecimento e para arrefecimento, definindo um melhor aproveitamento da energia solar através da adopção de soluções construtivas e arquitectónicas mais eficazes, nomeadamente no que diz respeito à orientação, à área dos vãos envidraçados e definindo um adequado sombreamento dos vãos envidraçados para o período de Verão, de forma a limitar os ganhos provenientes do exterior.

Este trabalho pretende ser uma ferramenta de apoio à aplicação do RCCTE, definindo quais as melhores soluções construtivas e arquitectónicas a adoptar, de forma a obter-se uma melhor eficiência energética para edifícios localizados no concelho de Évora. Mas tal só se aplica, directamente, a edifícios que possuam características semelhantes ao caso em estudo, pertencentes a uma construção em banda, sombreamentos semelhantes na envolvente e que tenham vãos envidraçados nos alçados principal e posterior com áreas semelhantes.

Ao que se conclui, que as melhores soluções de construção a adoptar no concelho de Évora, para edifícios com características semelhantes ao edifício “caso”, são que:

- É mais favorável construir com a fachada principal orientada a Sul ou a fachada principal orientada a Norte, desde que ambas as fachadas tenham vãos envidraçados nas orientações Sul e Norte com áreas idênticas;
- Segundo os cálculos efectuados, de acordo com o RCCTE e com os ângulos que se encontram tabelados para os factores de sombreamento por elementos horizontais, não é aconselhável a construção de edifícios com palas horizontais nos vãos envidraçados, seja qual for a orientação, pois quanto maior é o ângulo de

sombreamento provocado pelas palas horizontais nos vãos envidraçados, pior é a eficiência energética do edifício com a fachada principal orientada a Sul e não alterando em nada a eficiência energética do edifício para as fachadas principais orientadas a Norte, Este e Oeste. No entanto, atendendo à geometria de insolação, seria de esperar que para pequenos ângulos o impacto de existência de palas horizontais fosse muito maior durante a estação de arrefecimento (onde o ângulo de incidência solar é maior), do que durante a estação de aquecimento (onde o ângulo de incidência solar é menor). Por este facto se sugere que seja estudado o factor solar de sombreamento por elementos horizontais para ângulos inferiores a 30° , e que uma próxima revisão do RCCTE incorpore esses valores;

- Não se aconselha a construção de edifícios com grandes áreas de envidraçados, isto se a fachada com os vãos envidraçados estiver nas orientações Norte, Este e Oeste, obtendo-se sempre uma melhor eficiência energética com menores áreas de envidraçados, pois o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado é maior que o coeficiente de transmissão térmica da envolvente opaca. Há que ter em conta que, no Alentejo, as soluções arquitectónicas tradicionais são caracterizadas pela existência de janelas pequenas, como forma de limitar as trocas térmicas entre o interior e o exterior, obtendo-se assim edifícios naturalmente frescos durante o Verão. No entanto, pode construir-se com áreas de envidraçado maiores se a fachada principal com envidraçados estiver orientada a Sul, pelo menos até ao limite estudado da área dos envidraçados da fachada principal ser igual a 24% da área total dessa fachada, garantindo uma melhor eficiência energética do edifício;
- Quanto maior for a espessura do isolamento térmico, quer nas paredes exteriores quer na cobertura, menores serão as perdas térmicas pela envolvente exterior e melhor será a eficiência energética do edifício, pelo que se deve construir com maiores espessuras de isolamento térmico, especialmente na cobertura, pois é onde ocorrem as maiores perdas térmicas pela envolvente exterior;
- Devem construir-se edifícios que possuam uma inércia térmica forte, pois possuem uma melhor eficiência energética. Quando se aumenta a inércia térmica, verifica-se que o comportamento térmico do edifício melhora tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento.



Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

Bibliografia

- [1] – RCCTE – *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto-Lei 80/2006 – 2006.
- [2] – ITE 50 – C. Pina dos Santos, L. Cordeiro Matias – *Coefficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*– LNEC, Lisboa, 2006.
- [3] – S. Camelo, C. Pina dos Santos, A. Ramalho, C. Horta, H. Gonçalves, E. Maldonado – *Regulamento das Características do Comportamento Térmico do Edifícios (RCCTE), Manual de apoio à aplicação do RCCTE*– INETI, Lisboa, 2006.
- [4] – R. Aguiar – *Manual SolTerm versão 5.0*, INETI, Lisboa, 2007.
- [5] – E. Oliveira Fernandes, E. Maldonado – *Características do Comportamento Térmico do Edifícios – Manual de apoio*– Direcção Geral da Energia, Lisboa, 2006.
- [6] – A. Canha da Piedade, A. Moret Rodrigues, L. F. Roriz – *Climatização em Edifícios - Envolvente e Comportamento Térmico*– Edições Orion, Lisboa, 2003.
- [7] – Material de apoio ao curso de Formação de Peritos Qualificados – Módulo RCCTE ministrado pela Universidade de Évora em Outubro de 2008, pelos formadores Eng.º António Vilhena, Eng.º João Farinha Mendes, Prof. Júlio Correia da Silva e Prof. Isabel Torres.
- [8] – A. Cavaleiro e Silva e J.J. Malato – *Geometria da Insolação de Edifícios*, Lisboa, M.O.P.-L.N.E.C., 1969.
- [9] – www.adene.pt
- [10] - www.enerbuilding.eu – *Manual do consumidor "Eficiência energética nos edifícios residenciais"*
- [11] – Plantas fornecidas pela C.H.E. "Boa Vontade", c.r.l., do Projecto de Licenciamento da construção de uma habitação unifamiliar, a efectuar em Évora, no Bairro de Almeirim – Loteamento do Cabeço do Arraial – Lote nº 23.





Térmica de Edifícios
Eficiência Energética de Edifícios Localizados no Concelho de
Évora – Estudo de Caso

ANEXOS

ANEXO I

Folhas de Cálculo para a Determinação da Eficiência Energética do Edifício, para a Fachada Principal Orientada a Sul (Situação Real)

Folha de Cálculo FC IV.1d
Perdas associadas à renovação de ar

Área Útil de Pavimento (Ap)	91,49	m ²
	x	
Pé-direito médio (Pd)	2,40	m
	=	
Volume interior (V)	219,58	m ³

Ventilação natural

Cumpra a NP 1037-1?	(S ou N)	Não	se SIM: RPH =	
Se NÃO:				
Classe da Caixilharia	(s/c, 1, 2 ou 3)	s/c		
Caixas de Estore	(S ou N)	Sim		
Classe de exposição (Quadro IV.2)	(1, 2, 3 ou 4)	2		
Aberturas auto-reguladas?	(S ou N)	Não		
Área de envidraçados > 15% Ap?	(S ou N)	Sim		Ver Quadro IV.1
Portas exteriores bem vedadas?	(S ou N)	Sim		

Taxa de Renovação Nominal (Quadro IV.1):

RPH = 1,1

Ventilação mecânica (excluir exaustor da cozinha)

Caudal de insuflação	$V_{ins} - (m^3/h)$			
Caudal extraído	$V_{ev} - (m^3/h)$			$V_f =$
Diferença entre V_{ins} e V_{ev}	(m^3/h)		/	$V =$ (volume int) RPH (**)
Infiltrações (Vent. Natural)	$V_x - (h^{-1})$			
Recuperador de calor	(S ou N)			se SIM, $\eta =$ se NÃO, $\eta =$ 0
Taxa de renovação nominal	(mínimo: 0,6)			$(V_f / V + V_x) \cdot (1 - \eta)$
Consumo de electricidade para os ventiladores				$[E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 M(kWh)]$

Volume	219,58	
	x	
Taxa de Renovação Nominal	1,10	
	x	
	0,34	
	=	
Perdas associadas à renovação de ar	82,12	W/°C

Folha de Cálculo FC IV.1e
Ganhos úteis na estação de aquecimento (Inverno)

Ganhos solares

Orientação do vão	Tipo	Área (A) m ²	Factor de orientação (Xi)	Factor solar do vidro (g)	Factor de obstrução (Fs)	Fração envidraçada (Fg)	Factor de selectivid. angular (Fw)	Área efectiva (Ae) m ²
N (E1 - Cozinha)	Duplo	2,40	0,27	0,63	1,00	0,70	0,90	0,26
N (E1 - Quarto 1)	Duplo	1,21	0,27	0,63	1,00	0,70	0,90	0,13
N (E1 - Quarto 2)	Duplo	1,21	0,27	0,63	1,00	0,70	0,90	0,13
N (E2 - Sala)	Duplo	3,00	0,27	0,63	1,00	0,70	0,90	0,32
S (E2 - Sala)	Duplo	3,00	1,00	0,63	0,45	0,70	0,90	0,54
S (E1 - Quarto 3)	Duplo	1,21	1,00	0,63	0,85	0,70	0,90	0,41
S (E1 - Quarto 3- terraço)	Duplo	2,20	1,00	0,63	0,75	0,70	0,90	0,65

Área efectiva total equivalente na orientação Sul		2,44	m ²
		x	
Radiação incidente num envidraçado a Sul (G _{sol}) na zona climática	11	108,00	kWh/m ² .mês
		x	
Duração da estação de aquecimento		5,70	meses
		=	
Ganhos solares brutos - Qs		1500,17	kWh/ano

Ganhos internos

Ganhos internos médios	<input type="text" value="4,00"/>	W/m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento	<input type="text" value="5,7"/>	meses
	x	
Área útil de pavimento	<input type="text" value="91,49"/>	m ²
	x	
	<input type="text" value="0,72"/>	
	=	
Ganhos internos brutos - Qi	<input type="text" value="1501,90"/>	kWh/ano

Ganhos úteis totais

Ganhos térmicos brutos - Qg (Qg=Qs+Qi)	<input type="text" value="3002,07"/>	kWh/ano
	/	
Necessidades brutas de aquecimento	<input type="text" value="9322,51"/>	kWh/ano
	=	
Cociente - γ	<input type="text" value="0,32"/>	
Inércia do edifício = <input type="text" value="Forte"/>	a = <input type="text" value="4,20"/>	
Factor de utilização dos ganhos solares - η	<input type="text" value="0,99"/>	
	x	
Ganhos solares brutos + Ganhos internos brutos	<input type="text" value="3002,07"/>	kWh/ano
	=	
Ganhos úteis totais	<input type="text" value="2984,57"/>	kWh/ano

Folha de Cálculo FC IV.1f
Valor máximo das necessidades de aquecimento (Ni)

Factor de forma

Áreas da envolvente exterior (A):

- Paredes exteriores	55,29	m ²
- Coberturas exteriores	57,80	m ²
- Pavimentos exteriores	0,00	m ²
- Envidraçados exteriores	14,23	m ²

+

Áreas equivalentes da envolvente interior (A . τ):

- Paredes interiores	48,48	m ²
- Coberturas interiores	51,37	m ²
- Pavimentos interiores	0,00	m ²
- Envidraçados interiores	0,00	m ²

=

Área total 227,17 m²

/

Volume 219,58 m³

=

Factor de forma - FF 1,03

Graus-dias no local 1390 °C.dia

Necessidades Nominais de Aquecimento Máximas - Ni 86,30 kWh/m².ano

Para FF < 0,5

$$Ni = 4,5 + 0,0395 GD$$

Para 0,5 < FF < 1

$$Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD$$

Para 1 < FF < 1,5

$$Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037FF) GD] (1,2 - 0,2FF)$$

Para FF > 1,5

$$Ni = 4,05 + 0,06885 GD$$

Folha de Cálculo FC IV.2
Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:		
- Envolvente exterior	99,16	W/°C
- Envolvente interior	48,59	W/°C
- Vãos envidraçados	49,58	W/°C
- Renovação de ar	82,12	W/°C
	=	
Coefficiente global de perdas	279,45	W/°C
	x	
Graus-dias no local	1390	°C.dia
	x	
	0,024	
	=	
Necessidades brutas de aquecimento ⁽¹⁾	9322,51	kWh/ano
	-	
Ganhos totais úteis	2984,57	kWh/ano
	=	
Necessidades de aquecimento	6337,93	kWh/ano
	/	
Área útil de pavimento	91,49	m ²
	=	
Necessidades nominais de aquecimento - Nic	69,27	kWh/m ² .ano
	<	
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	86,30	kWh/m ² .ano
Conclusão	Verifica	

Anexo I.2 – Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_v e N_{vc})

Folha de cálculo FCV.1a Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores	(FCIV.1a)	28,75	W/°C
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores	(FCIV.1a)	0,00	W/°C
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores	(FCV.1b)	31,05	W/°C
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores	(FCV.1b)	49,58	W/°C
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	82,12	W/°C
		=	
Perdas específicas totais	(Q1a)	191,51	W/°C
<hr/>			
Temperatura interior de referência		25	°C
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento		23	°C
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		2	
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	191,51	W/°C
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	1121,49	kWh

Folha de Cálculo FC V.1d
Ganhos solares pelos envidraçados exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Orient.	Área, A (m ²)	g	Fg	Fs	Fw	Int. Rad. (kWh/m ²)	G.Sol. kWh
Envidraçado E1 - Cozinha	N	2,40	0,30	0,70	1,00	0,80	210	84,67
Envidraçado E1 - Quarto 1	N	1,21	0,30	0,70	1,00	0,80	210	42,69
Envidraçado E1 - Quarto 2	N	1,21	0,30	0,70	1,00	0,80	210	42,69
Envidraçado E1 - Quarto 3	S	1,21	0,30	0,70	0,88	0,75	400	67,08
Envidraçado E1 - Quarto 3 (do terraço)	S	2,20	0,30	0,70	0,76	0,75	400	105,34
Envidraçado E2 - Sala (sul)	S	3,00	0,30	0,70	0,51	0,75	400	96,39
Envidraçado E2 - Sala (norte)	N	3,00	0,30	0,70	1,00	0,80	210	105,84

Ganhos solares pela envolvente opaca exterior da fracção autónoma

kWh **544,70**

Folha de cálculo FC V.1e
Ganhos internos totais na estação de arrefecimento (Verão)

Ganhos internos médios	4,00	W/m ²
	x	
Área útil de pavimento	91,49	m ²
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos internos totais	1071,53	KWh

Folha de cálculo FC V.1f
Ganhos totais na estação de arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	(FCV.1d)	544,70	KWh
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	(FCV.1c)	92,60	KWh
		+	
Ganhos internos	(FCV.1e)	1071,53	KWh
		=	
Ganhos térmicos totais		1708,83	KWh

Folha de cálculo FCV.1g
Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)

Ganhos térmicos totais	1708,83	kWh
	/	
Perdas térmicas totais	1121,49	kWh
	=	
Cociente - γ	1,52	
Inércia do edifício	Forte	
	1	
	-	
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,61	
	=	
	0,39	
	x	
Ganhos térmicos totais	1708,83	kWh
	=	
Necessidades brutas de arrefecimento	661,35	kWh/ano
	+	
Consumo dos ventiladores (Ev=Pv.24.0,122) <small>(se houver, exaustor da cozinha excluído)</small>	0,00	kWh
	=	
TOTAL:	661,35	kWh/ano
	/	
Área útil de pavimento	91,49	m ²
	=	
Necessidades nominais de arrefecimento - Nvc	7,23	kWh/m ² .ano
	<	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	kWh/m ² .ano
Conclusão	Verifica	

Anexo I.3 – Necessidades de Energia para a Preparação da Água Quente Sanitária (N_a e N_{ac})

Cálculo das necessidades de energia para preparação da água quente sanitária

Caracterização do imóvel

Tipo de edifício	Residencial
Tipo de utilização	Permanente
Tipologia	T3
Número de fracções	1
Número de utilizadores	4

Tipo de sistema de preparação de AQS

Sistema eléctrico ou a gás	Eléctrico
Equipamento de preparação das AQS	Termoacumulador eléctrico com pelo menos 100mm de isolamento térmico
Rede de distribuição de água quente isolada com pelo menos 10 mm de isolante térmico	Sim
Rendimento - η_a	0,95

Energia dispendida com sistemas convencionais de preparação das AQS

Cons. médio diário de ref. - M_{AQS}	160	l
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura - ΔT	45	°C
	x	
Número de dias de consumo - n_d	365	dias
	/	
	3600000	
	=	
Total - Q_a	3056,5	kWh/ano

Contribuição de sistemas solares de preparação das AQS (E_{solar})

Área mínima de colectores necessária (m^2):	4	m^2
Sistema:	colectores Gasokol sunnySol UP (4m2)	
E_{solar} :	2399	kWh/ m^2 .ano

Cálculo das necessidades de energia para preparação da água quente sanitária

Necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS - *Nac*

Energia dispendida com sistemas convencionais de preparação das AQS	3056,5	kWh/ano
	/	
Rendimento - η_a	0,95	
	-	
Contribuição de sistemas solares de preparação das AQS (E_{solar})	2399,00	kWh/ano
	-	
Contribuição de outros sistemas de preparação das AQS (E_{ren})	0	kWh/ano
	=	
Total	818,4	kWh/ano
	/	
Área de pavimento	91,49	m ²
	=	
Total - <i>Nac</i>	8,9	kWh/(m ² .ano)

Necessidades nominais máximas de energia útil para a produção de AQS - *Na*

	0,081	
	x	
Cons. médio diário de ref. - M_{AQS}	160,00	
	x	
Número de dias de consumo - n_d	365	
	/	
Área de pavimento	91,49	
	=	
Total - <i>Na</i>	51,7	kWh/m ² .ano

Eficiência

Necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS - <i>Nac</i>	8,9	kWh/m ² .ano
	<	
Necessidades nominais máximas de energia útil para a produção de AQS - <i>Na</i>	51,7	kWh/m ² .ano
	Verifica	

Anexo I.4 – Necessidades Globais de Energia Primária (N_t e N_{tc})

Folha de cálculo FC Res.1

Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária

Parâmetros

Eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de aquecimento	0,60
Eficiência nominal dos equipamentos para os sistemas de arrefecimento	3,00
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (Inverno) - F_{pui}	0,086
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (Verão) - F_{puv}	0,29
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (AQS) - F_{pua}	0,290

Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária

	0,10	
	x	
Necessidades nominais de aquecimento - N_{ic}	69,27	kWh/m ² .ano
	/	
Eficiência nominal dos equipamentos para os sist. de aquecimento - η_i	0,60	
	x	
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (Inverno) - F_{pui}	0,086	kgep/kWh
	+	
	0,10	
	x	
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	7,23	kWh/m ² .ano
	/	
Eficiência nominal dos equipamentos para os sist. de arrefecimento - η_v	3,00	
	x	
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (Verão) - F_{puv}	0,29	kgep/kWh
	+	
Necessidades nominais de energia útil para a produção de AQS - N_{ac}	8,95	kWh/m ² .ano
	x	
Factor de conversão entre energia útil e energia primária (AQS) - F_{pua}	0,29	kgep/kWh
	=	
Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária - N_{tc}	3,66	kgep/m ² .ano

Valor limite da energia primária

	0,01	kgep/kWh
	x	
Necessidades nominais de aquecimento máximas - Ni	86,30	kWh/m ² .ano
	+	
	0,01	kgep/kWh
	x	
Necessidades nominais de arrefecimento máximas - Nv	32,00	kWh/m ² .ano
	+	
	0,15	kgep/kWh
	x	
Necessidades nominais máximas de energia útil para a produção de AQS - Na	51,70	kWh/m ² .ano
	=	
Total	8,94	kgep/m ² .ano
	x	
	0,90	
	=	
Valor limite da energia primária - <i>Nt</i>	8,04	kgep/m ² .ano

Eficiência

Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária - Ntc	3,66	kgep/m ² .ano
	<	
Valor limite da energia primária - Nt	8,04	kgep/m ² .ano
Conclusão	Verifica	
Eficiência <i>R</i> = Ntc/Nt	0,46	
Classe de eficiência energética	A	

ANEXO II

Determinação da Energia Fornecida por Sistemas Colectores Solares para Aquecimento de Águas Quentes Sanitárias (E_{solar}), Utilizando o Programa SOLTERM

SolTerm 5.0

Licenciado a Ana Paula Domingos da Silva

○

Estimativa de desempenho de sistema solar térmico

Campo de colectores

Modelo de colector: Gasokol sunnySol UP

Tipo: Plano

2 módulos (4,0 m²)

Inclinação 40° - Azimute sul

Coefficientes de perdas térmicas: a1= 4,000 w/m²/K a2= 0,014 w/m²/K²

Rendimento óptico: 77,8%

Modificador de ângulo: a 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40°
 1,00 1,00 1,00 1,00 0,99 0,99 0,98 0,98 0,97

 a 45° 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°
 0,96 0,94 0,92 0,89 0,85 0,79 0,69 0,49 0,00 0,00

Permutador

Interno ao depósito, tipo serpentina, com eficácia 55%

Caudal no grupo painel/permutador: 45,4 l/m² por hora (=0,05 l/s)

Depósito

Modelo: típico 200 l

Volume: 200 l

Área externa: 2,70 m²

Material: médio condutor de calor

Posição vertical

Deflectores interiores

Coefficiente de perdas térmicas: 2,70 w/K

Um conjunto depósito/permutador

Tubagens

Comprimento total: 70,0 m

Percurso no exterior: 17,5 m com protecção mecânica

Diâmetro interno: 37,0 mm

Espessura do tubo metálico: 3,0 mm

Espessura do isolamento: 36,0 mm

Condutividade térmica do metal: 380 w/m/K

Condutividade térmica do isolamento: 0,030 w/m/K

Carga térmica: segunda a sexta

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan 12	Fev 13	Mar 14	Abr 16	Mai 17	Jun 18	Jul 17	Ago 16	Set 14	Out 14	Nov 13	Dez 12
Perfis de consumo (l)												
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
08	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
09	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24												
diário	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Carga térmica: fim-de-semana

RCCTE 4 ocupantes

Temperatura nominal de consumo: 60°C (N.B. existem válvulas misturadoras)

Temperaturas de abastecimento ao depósito (°C):

	Jan 12	Fev 13	Mar 14	Abr 16	Mai 17	Jun 18	Jul 17	Ago 16	Set 14	Out 14	Nov 13	Dez 12
Perfis de consumo (l)												
hora	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
01												
02												
03												
04												
05												
06												
07	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
08	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
09	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
19	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
24												
diário	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160

Localização, posição e envolvente do sistema

Concelho de Évora

Coordenadas nominais: 38,5°N, 7,9°W

TRY para RCCTE/STE e SOLTERM (fonte: INETI - versão 2004)

obstruções do horizonte: 3° (por defeito)

orientação do painel: inclinação 40° - azimute 0°

Balanço energético mensal e anual

	Rad. Horiz. kwh/m ²	Rad. Inclín. kwh/m ²	Desperdiçado kwh	Fornecido kwh	Carga kwh	Apoio kwh
Janeiro	67	114	,	162	277	115
Fevereiro	84	121	,	161	245	83
Março	124	151	,	189	265	76
Abril	159	167	,	196	246	49
Maio	203	191	,	216	248	32
Junho	217	193	,	214	234	21
Julho	238	217	3,	239	248	9
Agosto	216	218	6,	248	254	6
Setembro	155	180	1,	231	257	26
Outubro	111	154	,	207	265	58
Novembro	75	123	,	174	262	88
Dezembro	63	109	,	161	277	116
Anual	1711	1939	9,	2399	3078	679

Fracção solar: 77,9%

Rendimento global anual do sistema: 31%

Produtividade: 595 kwh/[m² colector]

N.B. 'Fornecido' é designado 'E solar' nos Regulamentos Energéticos (DLs 78,79,80/06)

RCCTE - Moradia Unifamiliar T3 | 23-03-2009 13:46:11 Ana Paula |

ANEXO III
Planta de Localização e Planta do Edifício

